

A PANNON-MEDENCE MEANDEREZŐ VÍZFOLYÁSAINAK
KANYARFEJLETTSÉG ELEMZÉSE –
NEOTEKTONIKAI ÉS FOLYÓDINAMIKAI KÖVETKEZTETÉSEK

Petrovszki Judit

Doktori (Ph.D.) értekezés

Környezettudományi Doktori Iskola
Doktori Iskola Vezetője: dr. Galács András

Környezeti Földtudomány Program
Doktori Program Vezetője: dr. Galács András

Témavezető: dr. Timár Gábor tanszékvezető egyetemi docens



ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék
2013

Tartalom

1. Bevezetés	4
2. Elméleti háttér	6
2.1. A folyók alakját befolyásoló tényezők.....	6
2.2. Mederlejtés és mederkitöltő vízhozam hatása az alaktípusokra.....	10
2.3. Növekvő esés, növekvő kanyarfelettség? – Modellkád-kísérletek	14
2.4. Medermorfológia és tektonika.....	16
3. Folyódinamikai összefüggések	22
3.1. Az adatok	22
3.2. Átlagvízhozam és mederkitöltő vízhozam	24
3.3. A folyószabályozások hatása a mederlejtésre	27
3.4. A legvalószínűbb kanyarfelettséget mutató felület létrehozása.....	28
3.5. Az eredménygrafikon és diszkussziója.....	31
4. A történeti térképtől a kanyarfelettség spektrumig – a feldolgozás lépései	36
4.1. A folyószabályozások nyomai – melyek a természetes medrek?.....	37
4.2. Második Katonai Felmérés és a medervonalak digitalizálása.....	40
4.3. Kanyarfelettség-számítás	42
4.4. Isoclass osztályozás.....	44
4.5. A folyamat tényleges lépései és statisztikai háttere.....	48
5. Eredmények: a Pannon-medence folyóinak részletes áttekintése	55
5.1. Északnyugati folyók.....	57
5.2. Duna	60
5.3. Dráva és Száva	62
5.4. Felső –Tisza vidéke	64
5.5. Erdélyi folyók	66
5.6. Körös-vidék	68

6. Diszkusszió	70
6.1. Összehasonlítás a neotektonikai térképpel.....	70
6.2. Esettanulmányok	81
7. Kitekintés: a Pannon-medencén kívül.....	87
7.1. Pó.....	87
7.2. Menderes	89
7.3. Mississippi és Missouri	92
8. Konklúziók, tézisek	96
Köszönetnyilvánítás	101
Irodalomjegyzék.....	102
Ábrajegyzék	110
Mellékletek.....	114
Összefoglalás.....	144
Summary	145

1. Bevezetés

Miért kanyarognak a folyók? Miért így és miért erre? Mi lehetett az oka az alföldi folyók gyakori mederváltásának? Mi befolyásolja a kanyarok méretét és számát? Vajon a kapcsolat a befolyásoló tényezők és a kanyarok között mennyire egy-egy értelmű? Levonhatunk-e bármilyen következtetést a kanyarok mennyiségéből és eloszlásából a terület geológiájára vagy tektonikájára vonatkozóan?

A természet apró változásaiból rengeteg nagyobb léptékű folyamat részletét megismerhetjük. A folyók kanyargása nemcsak szép, de hasznos információkkal is szolgálhat a terület tektonikus viszonyairól. A folyók néhol kicsit jobban kanyarognak, amiből akár a felszín alatti folyamatokra is következtethetünk. A kanyarok kialakulásának, méretének, növekedésének és lefűződésének mind földtani okai lehetnek. Az elmúlt 30 évben több valós folyón kipróbálták a módszert, igazolva az adott terület recens aktív vertikális mozgásait. A módszer önmagában nem alkalmazható, hiszen a folyók kanyargósságát a lejtőszögön kívül a vízhozam és a hordalékhozam is befolyásolja, de szeizmikus szelvényekkel illetve neotektonikai térképpel kiegészítve az eredmények hasznos információval szolgálnak.

Ha a tektonikus mozgások hatására megváltozik a völglejtés, a folyók érzékeny rendszerként, gyorsan válaszolnak ezekre a változásokra, lényegében megváltoztatják a medrüket. A kanyarfejlettség érték széles körben alkalmazott karakterisztikus morфомetriai paraméter a folyók elemzésénél. Munkám során a Pannon-medence főbb folyóinak kanyarfejlettségét tanulmányoztam, azt kutatva, mennyire befolyásolja az aktív neotektonika a folyók alakját, illetve a folyók alakváltozásaiból mennyire lehet következtetni a térség recens tektonikájára.

A vizsgált folyók a 19. századi folyószabályozásokat megelőzően meanderező mederben haladtak. Ez az utolsó természetes mederállapot a Habsburg Birodalom Második Katonai Felmérésén követhető nyomon. A digitalizált folyómedrek kanyarfejlettség értékeit különböző ablakmérettel is kiszámoltam, 5 km-től 80 km-ig. A mederkitöltő vízhozam függvényében meghatározható egy „jellemző ablakméret”, mely a tektonikával van összefüggésben. A jelentős kanyarfejlettség-változások helyét a „Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza” adatbázisában szereplő szerkezeti vonalakkal hasonlítottam össze.

Jelen értekezésben először (2. fejezet) egy áttekintést adok a meanderező folyókról: mi a meanderezés, hogy jön létre, mi befolyásolja. A 3. fejezetben a mederkitöltő vízhozam –

völgylejtés – kanyarfejltség között próbálok egy háromdimenziós folyódinamikai összefüggést kialakítani. Ehhez már felhasználom a kanyarfejltség-értékeket, amiknek a kiszámítását csak a *4. fejezetben* részletezem. Logikai szempontból azonban ennek a grafikonnak itt a helye, ugyanis ezzel a folyódinamikai összefüggéssel igazolom, hogy a kanyarfejltség modellkád-kísérletekkel megállapított esés-függő változása természetes folyókra is igaz, bármekkora is a mederkitöltő vízhozam.

A *4. fejezetben* mutatom be a felhasznált adatokat és a feldolgozás lépéseit. Munkám során nemcsak a különböző ablakmérettel számolt kanyarfejltségeket vizsgáltam, hanem egy objektívebb osztályozási módszert is. Ebben a fejezetben a tényleges lépéseket is leírom, valamint bemutatom az osztályozás statisztikáját is, azaz mennyire függenek össze a kanyarfejltség-értékek a kapott osztályokkal. Az *5. fejezetben* mutatom be a kapott eredményeket. A kapott kanyarfejltségeket, spektrumokat és osztályokat folyónként a dolgozat végén található *Mellékletekben* ismertetem.

Az eredmények diszkutálása a *6. fejezetben* történik. Neotektonikai térképpel, üledékvastagsággal és szeizmikus szelvényekkel hasonlítom össze a jelentős kanyarfejltségeket, valamint néhány esettanulmányt is bemutatok. A *7. fejezetben* egy kis kitekintést adok, ugyanis a módszert kipróbáltam a Pannon-medencén kívül is, a Pó, a Menderes, a Mississippi és a Missouri folyók mentén. Az alfejezetekben röviden ismertetem a területek geológiai viszonyait, bemutatom az eredményeket és az ezekből levonható következtetéseket. A *8. fejezetben* kerül sor a konklúziók ismertetésére, tézisek formájában.

2. Elméleti háttér

A folyók viselkedését többen is tanulmányozták, vagy természetes körülmények között, vagy laboratóriumokban, modell-kádakkal. Ebben a fejezetben azoknak a kutatóknak a munkáját tekintem át, melyeket alapul vettem kutatásaimhoz. Áttekintem azokat a tényezőket, amik befolyásolják a folyók alakját, alaktípusát. Majd rátérek azokra a vizsgálatokra, amik vertikális felszínmozgásokat, aktív tektonikát igazoltak a folyók alakjának, mintázatának változásával.

2.1. A folyók alakját befolyásoló tényezők

Schumm (2005) könyvében több évtizedes kutatómunkájának eredményeit összegzi. Vizsgálta a folyók változását, alakjának befolyásoló tényezőit, és az egész rendszer összetettségét. Tanulmányozta hogyan hat a mederre, ha más az alaktípus, ha változik a lejtés, a víz vagy hordalékhozam, a szemcseméret, milyen hatása van a tektonikának, az emberi beavatkozásnak, a klímaváltozásnak, és általában milyen tényezők befolyásolják azt, hogy az adott folyó éppen milyen alaktípust vesz fel. Minden folyóra igaz, hogy ha növekszik a völgylejtés, a vízerő és a szállított hordalék mennyisége, akkor ezek megváltoztatják a folyó alakját, vagy akár az alaktípusát is.

A folyókat többféle módon csoportosíthatjuk, például a meder anyaga alapján. Eszerint a folyó lehet *alluviális*, melynek medre és partja a folyó által szállított hordalékból áll; folyhat egy alapkőzeten (*bedrock*); illetve előfordulhat egy kevert állapot is. Az alapkőzet által meghatározott meder helye kötött, hosszú időn keresztül stabilan ugyanott folyik. A kevert típusnál lokálisan fordulnak elő ilyen szakaszok. Az alluviális szakaszoknál, ahogy az alluvium erodálódik, szállítódik és lerakódik, valamint ahogy a víz és hordalékhozam változik, a folyók érzékenyen reagálnak akár alaktípusuk megváltoztatásával, akár a medrük jelentős elmozdításával (Schumm, 1986).

Egy másik csoportosítás szerint a medrek lehetnek stabilak, tehát annak ellenére, hogy az idők folyamán változik a meder, a morfológiáját megtartja; és lehetnek instabilak, azaz

bevágódnak, hordalékot raknak le, átszakítják kanyarjaikat. A kanyarok növekedése és eltolódása általában folyásirányban lefelé történik.

Schumm (2005) 4 fő okot jelöl meg, ami változásra készítheti a folyót: idő, hordalék, hordalékhozam és az erózióbázis megváltozása. Ezek közül talán az idő az egyik legnehezebben meghatározható. A medrek természetesen változnak az idő folyamán, így az időt is egy indexként lehet kezelni az elvégzett munka, a ráfordított energia alapján.

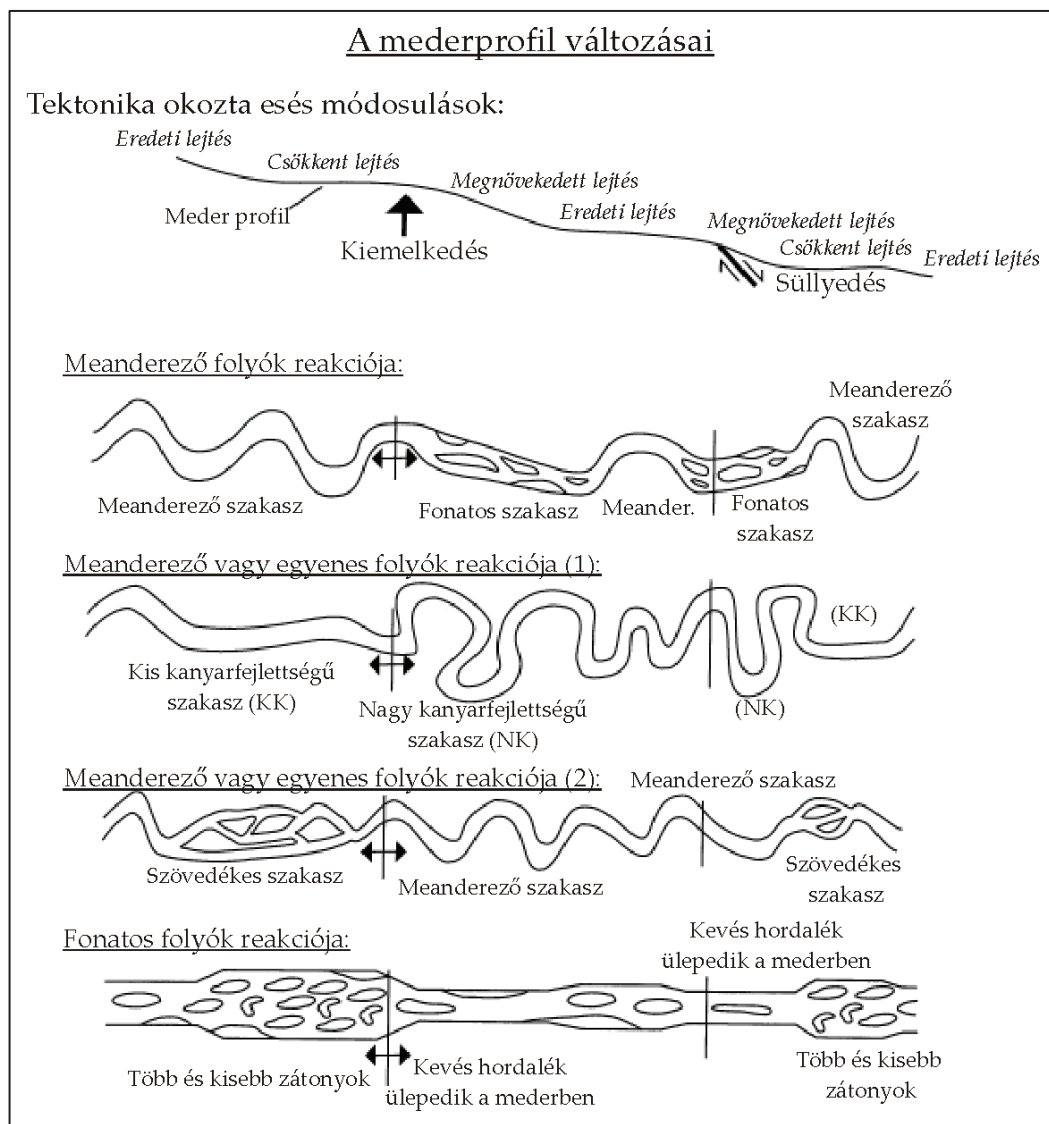
Ha tektonikus tényezők nem módosították a völgylejtést, az alluviális felszín gradiense pont olyan lesz, amelyet a rajta keresztül folyó víz-hordalék keverék mozgása megkíván. A folyó típusát és szakaszainak változását meghatározza a klíma és a terület hidrológiájának földtörténeti változása, míg a jelenlegi morfológiáját és változékonyságát a völgylejtést meghatározó tényezők fogják befolyásolni.

A folyó típusát jelentősen befolyásolja a tektonika. Ha a folyót metszi egy vető, hatása folyásirányban lefelé fog jelentkezni (2.1. ábra). Széles síkságok nagy alluviális folyóinak kanyarátmszései vetődések vagy földrengések eredményei is lehetnek. A tektonika még a legnagyobb folyókat is befolyásolja. A földrengések és kanyarátmszések jelentősen módosíthatják a folyó morfológiáját. Ha nem alaktípus változás történik, akkor csak a folyó kanyarfejlettsége növekszik vagy csökken. Néhány esetben viszont a lejtés annyira megnő, hogy a meder fonatossá válik. Nagyon kis eséseknél viszont a szövedékes alaktípus jelenik meg, főleg ha a hordalék lerakási ráta is nagy (Twidale 1966; Ouchi 1985; Marple és Talwani 1993).

Korreláció található a relief, az eróziós ráta és a hordalék-hozam között. Még a kis magasságkülönbségek is fontosak az évszakos áradásoknál. Az árvíz jelenléte, mélysége és eloszlása az alluviális síkságon utal a holocén süllyedésekre és kiemelkedésekre. A szállított hordalék típusa szintén meghatározó. Azok a folyók, melyekben relatíve kevés a görgetett hordalék, azok inkább fognak kanyarogni, és nem válnak fonatossá (Lóczy; idézi Papp, 1922). Ha a görgetett/lebegtetett hordalék arány kicsi, a meder keskeny, mély és kanyargós lesz. Ellenkező esetben, ha ez az arány nagy, akkor a folyó viszonylag széles, sekély és egyenes lesz. (Schumm, 1977).

A vízhozam egyenesen arányos a meder szélességével, mélységével, a meander hullámhosszával, és fordítottan arányos a gradienssel. A vízhozam (mederkitöltő, átlagos vagy éves) meghatározza a meder kiterjedésének főbb paramétereit, de a mederben mozgó víz mennyisége nem befolyásolja az alaktípust (Schumm, 1977). Meandereznek a kis patakok, de a Mississippi is. Több szerző is próbálja megbecsülni a folyók vízhozamát különböző paraméterekből. Tayfur és Singh (2011) a medrek keresztmetszetéből jósol átlagos és mederkitöltő vízhozamot, többek között nem-lineáris regresszióval és mesterséges neurális

hálózatok alkalmazásával. Dury (1976) a szélesség–hullámhossz–vízhozam összefüggéseiből állapítja meg jelenlegi és korábbi medrek vízhozamait.



2.1. ábra: Holbrook és Schumm (1999) – A folyók hosszúság-szelvényét vizsgálták az aktív tektonika okozta kiemelkedésekre és süllyedésekre.

Szélesebb völgyekben jelentősebb változások történhetnek, tehát nemcsak a meder, de a völgy szélessége is befolyásoló tényező. Jefferson (1902) szerint akkor tekinthető egy folyó szabadon meanderezőnek, ha a völgy szélesség minimum 18-szorosa a meder szélességének. Meghatározó még a völgy morfológiája, a hosszúságszelvények konvexitása is. Holbrook és Schumm (1999) a folyók hosszúság szelvényét vizsgálták (2.1. ábra). A helyi süllyedések a görbe konkávvá válását okozhatják. A kiemelkedés hatására aggradáció és degradáció jelent meg a mederprofilon. De értelmezéskor figyelembe kell venni, hogy a víz- és hordalékhozam változása is okozhat ilyen jelenségeket.

A mellékfolyóknak is hatása van a medrekre, hiszen növelik a vízhozamot, és akár a hordalék mennyiségét is változtathatják. Kisebb mellékfolyónak a hatása is kisebb lesz, esetleg egy kisebb szélesedést vagy mélyülést okoz, míg a nagyobb mellékfolyónak a hatása is jelentősebb lesz, akár az egész meder karakterét is átalakíthatja. Russel (1954) a Menderesnél említ ilyen szembetűnő változást: ahogy megérkezik az Ak nevű fonatos mellékfolyó, és annak sok, durva szemcsés hordaléka, a Menderes is fonatossá válik.

A további befolyásoló tényezők között szerepel a litológia, a növényzet, az áradások, az erózióbázis és a klíma változása, de nem hanyagolható el az ember hatása sem (folyószabályozások, erdőirtások, duzzasztógátak, stb.). Sztanó et al. (2012) szeizmikus szelvényeken található progradáló deltákkal igazolja a Pannon-tó erózióbázisának klímaváltozás hatására létrejött változását. Vandenberghe (1993) a változó periglaciális körülmények következtében létrejött folyóvízi változásokat elemezte. Kiss és Blanka (2012) kevésbé régire nyúlik vissza vizsgálataival, ugyanis a Hernád mentén vizsgálják a klímaváltozás és emberi tevékenység hatását az elmúlt 60 évben. A csapadék csökkent, 1963-ban megépült Szlovákia legnagyobb duzzasztógátja, aminek eredményeként a nagy meandereken másodlagos kanyarok alakultak ki. Emellett, bár az átlagos vízhozam csökkent, az árvíz-veszélyeztetettség is nőtt. Gábris és Nádor (2007) a kvarter klimatikus és tektonikus hatásait foglalják össze a Pannon-medence vízhálózatára. A Pannon-tó regressziójával a folyóhálózat is folyamatosan változott. A folyóteraszok a glaciális klímaváltozás miatt jöttek létre, a folyóhálózat jelenlegi alakját pedig a térben és időben változó süllyedési ráták befolyásolták. Timár et al. (2005) szintén tektonikus és klimatikus változások nyomait vizsgálják a Tisza egy szakaszán.

Az emberi beavatkozást legszembeütőbben a folyószabályozások jelzik. Szabályozott folyók már nem reagálnak a tektonikus felszínmozgásokra, de lehet reakciójuk magára a szabályozásra. Ezt vizsgálta például Cserkész-Nagy et al. (2010) a Tiszára. Kiss et al. (2008) a Tiszára, Kiss et al. (2011) a Marosra elemezte a folyók szabályozás hatására megváltozott horizontális és vertikális paramétereit. Tanulmányozták azt is, hogyan változott az árvíz kockázat a megnövelt esés, de beszűkített ártér következtében. Remo et al. (2009) a Mississippi és Missouri mentén modellezte és jósolta a mérnöki munkák és a változó földhasználat hatását a folyókra.

2.2. Mederlejtés és mederkitöltő vízhozam hatása az alaktípusokra

Az alluviális folyók alaktípusait, ezek jellemzőit és az ezeken megfigyelhető jelenségeket, kialakulásuk feltételeit Leopold és Wolman (1957, 1960) cikkei mutatják be. A folyók típusairól Schumm (1960, 1963) cikkeiben valamint könyvében (Schumm, 2005) található összefoglalás. Alaktípuson lényegében a meder mintázatát értjük, amit terepi példákon és modellkád kísérleteken is lehet elemezni. A folyó alakját és mintázatát a vízhozam, a hordalékhozam, a meder szélessége, mélysége, a víz sebessége, a lejtőszög és az érdesség együttesen határozza meg. Ha például szélesebb a meder, mint amekkorára a folyónak szüksége van, akkor először feliszapolódik, ezután pedig a növényzet megoldja a mederszűkítést, azáltal, hogy a nem-használt területeket benövi. Ahhoz, hogy ezek közül csak egy változó viselkedését tanulmányozzuk, a többit állandó értéken kell tartani.

Leopold és Wolman a folyómedrekre 3 fontos következtetést vont le:

1. Szinte minden természetes meder alapvető jellemzői közé tartozik, hogy a mederfenéken bemélyedések és kiemelkedések találhatók (*gázlók és üstök, pools and riffles*).
2. A folyókanyaroknak van egy hullámhossza, ami függ a meder szélességétől, és közvetetten a vízhozamtól is.
3. Még az egyenes medreknek is van egy olyan készítése, hogy valamennyire szinuszos áramlása legyen, a partfal egyenessége ellenére is.

A *fonatos* folyó két vagy több ágra szakadva, alluviális szigetek körül folyik. Ezek az ágak összességében meredekebbek, szélesebbek és sekélyebbek, mint a hasonló vízmennyiségű, nem szétváló medrek. Leopold és Wolman munkájuk során tanulmányoztak természetben előforduló fonatos medreket, de kialakulásukat demonstrálták modell-kádakban is. A fonatos alaktípus kialakulásának egyik feltétele, hogy sok görgetett hordalék legyen jelen. Leopold és Wolman (1957, 1960) azt találták, hogy a folyó üledékét először egy kezdeti zátony formájában rakja le, a meder közepére. Ez a zátony fejlődik tovább, azokból a hordalékszemcsékből, melyeket a folyó az adott helyi feltételek mellett már nem tud továbbszállítani. Idővel szigetté válik, a folyó pedig két oldalról kikerüli. A fonatos mintázat elég közel van a folyó egyensúlyi állapotához, így ha egyszer kialakult, akkor kis változásoktól eltekintve sokáig fennmarad.

Egyenes folyókat ritkán lehet a természetben találni, szinte nem is léteznek. Nagyon rövid folyószakaszok vannak, amik természetes állapotukban egyenesek, de a meder szélességénél 10-szer hosszabb egyenes szakaszok ritkán fordulnak elő (Leopold és Wolman, 1957). A hosszú, egyenes szakaszok legelterjedtebb képződési módja a folyószabályozás.

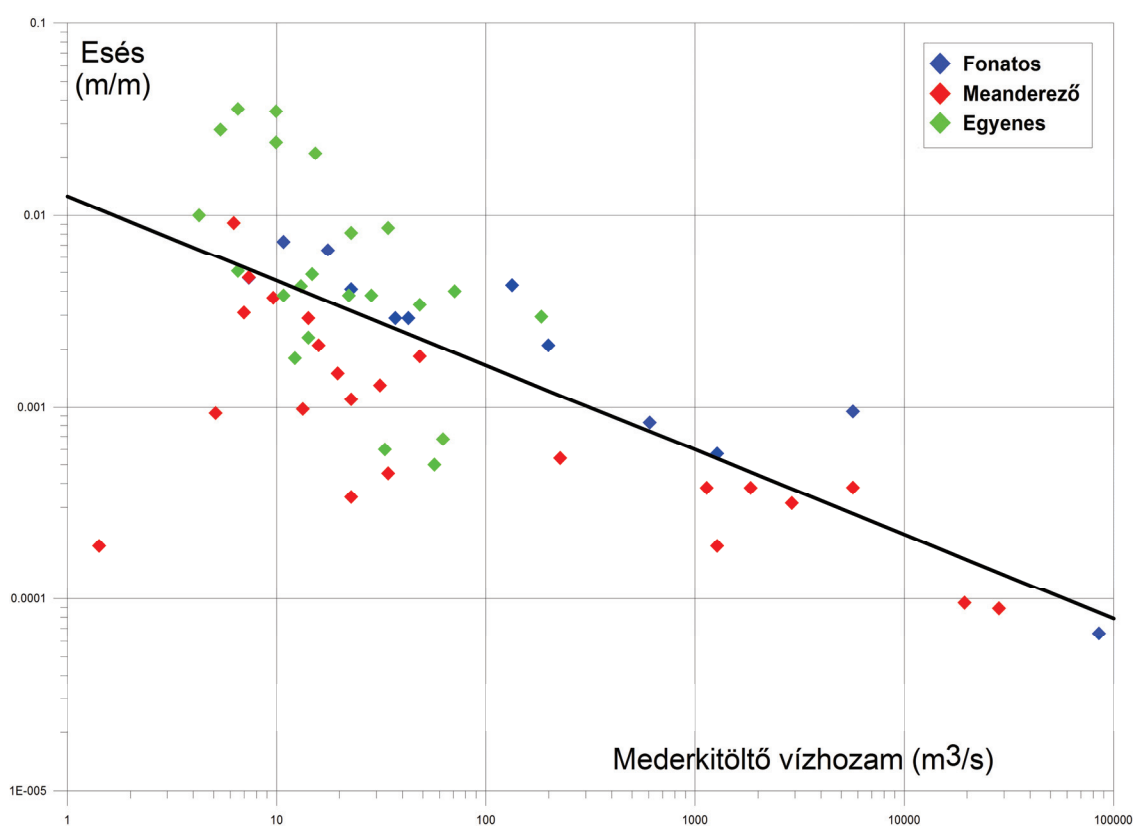
Meanderek formálódhatnak gleccserek olvadékvizéből is, de a Golf-áramlásban is hasonlóan viselkednek, mint a folyók esetében, habár nem szállítanak hordalékot, így leginkább az áramlás dinamikája határozza meg viselkedésüket. A különböző alaktípusok bármilyen vízhozamnál megjelenhetnek (Leopold és Wolman, 1957; Schumm, 1977), ez a meanderezőre is igaz. Meanderezik a Mississippi is, de a másodpercenként kevesebb, mint 0.01 m^3 vizet szállító laboratóriumi „folyók” is, ha rendelkeznek a szükséges mennyiségű lebegtetett hordalékkal. A kanyarok mérete egyenesen arányos a folyók méretével, nagyobb folyóknak nagyobb, kisebb folyóknak kisebb kanyarjai lesznek. Nincs általános elmélet arra, hogy mi hozza létre a meanderezést, de nem is valószínű, hogy egy egyszerű elmélettel meg lehetne magyarázni (Leopold és Wolman 1960). Furbish (1991) ismerte fel, hogy a meanderezés valójában egy önszervező folyamat. Stølum (1996) modellkád kísérletekből azt kapta, hogy az önszervező meanderezés során a folyók kanyarfejlettsége $3,14 (\pi)$ körüli. Kis eltérések lehetnek a kanyarok fejlődése és lefűződése miatt, de hosszú időn keresztül ezek kiátlagolódnak. Amint azt a későbbiekben bemutatom (4.4. fejezet) a Pannon-medence folyóira ez nem áll fenn (bár csak egy adott időpillanatban vizsgáltam). Stølum (1998) a meanderek fraktálszerkezetét vizsgálta, és megállapította, hogy a szabadon meanderező folyók egy dinamikus rendszert alkotnak.

A folyókat beoszthatjuk egyenes, fonatos, meanderező, szövedékes, vándorló, fattyúágas típusokba, de valójában ezek az osztályok nem éles vonallal elhatároltak, hanem egy kontinuumot alkotnak, és akár jóval több alaktípus is elkülöníthető lenne. A vándorló típus (Miall, 1977) például a meanderező és a fonatos közötti átmenet. Az, hogy a folyó hogyan reagál a völgylejtés megváltozására, függ attól, milyen alaktípusba tartozik a folyó, a kontinuumon hol helyezkedik el, illetve a deformáció mértékétől és arányától is. Ahhoz, hogy a folyó alaktípust váltson, el kell érnie egy kritikus értéket völgylejtés, víz- és hordalékhozam terén (Schumm és Khan, 1972). Vízhozam növekedés hatására a meanderező meder fonatossá válhat. Egy fonatos meder akár egy rövid szakasz alatt is átalakulhat meanderezővé, vagy lehetnek meanderező fattyúágai. Erre láthatunk példát a Duna mentén: szigetközi szakaszán a főágnak fonatos alaktípusa van, de fattyúága, a Mosoni-Duna meanderezik. A folyótípusok kontinuumra rámutat arra, hogy hasonló fizikai törvények befolyásolják mindhárom típus kialakulását.

Leopold és Wolman (1957) a folyók mederkitöltő vízhozama, esése és az alaktípusa között kerestek összefüggést. Grafikonjukon a különböző alaktípusú folyókat jellemző pontokat különböző jelekkel ábrázolták, a 2.2. ábrán ezt eltérő színek használatával tettem látható-

vá. A meanderező csoportba azokat a medreket sorolták, melyeknek kanyarfejltsége 1,5-nél nagyobb volt, mert ebben az esetben már ténylegesen meanderezőnek tekinthető a folyó.

Adott vízhozamnál a meanderek kisebb esésértékeknél jelennek meg, mint a fonatos medrek. Azonos esés mellett, a fonatos meder létrejöttéhez nagyobb vízhozam kell. A grafikonon még az is látszik, hogy az 1,5-nél kisebb kanyarfejltségű, egyenesnek besorolt medrek széles lejtőszög-tartományban jelennek meg. Ez is azt mutatja, hogy az egyenes medrek szétválasztása a meanderezőtől teljesen önkényes volt. Az ábra hasonlít Ackers és Charlton (1971) ábrájához, akiknél viszont az jött ki, hogy az egyenes medrek kisebb esésnél jelennek meg.



2.2. ábra. Leopold és Wolman (1957) által vizsgált folyók esés (Y tengely) és mederkitöltő-vízhozam (X tengely) értékei. Az eredeti köbláb/másodperc adatok $\text{m}^3/\text{másodperc}$ -re átváltva

Leopold és Wolman (1957) a meanderező és fonatos medreket a következő egyenessel különítették el: $s=0,06*Q^{-0,44}$. A képletben Q köbláb/másodpercben szerepel, a későbbi számításaimhoz ezt m^3/s -ra váltottam (2.2. ábra). A kialakult grafikonnal kapcsolatban Leopold és Wolman (1957) megjegyzik, hogy a pontjai természetes folyómedrek alapján lettek felvéve, amik esetében a különböző változók gyakran összefüggnek egymással. A folyók viselkedését több tényező is befolyásolja, amik közül ők itt csak kettőt vizsgálnak, ami még nem elégséges sem a kialakító mechanizmus, sem az összes lehetséges állapot leírására.

Viszont, mivel természetes folyók adataiból készült, olyan állapotot ír le, ami sok természetes meder esetén fennáll. A vizsgált esés–vízhozam–alakítípus összefüggésnek az alluviális folyók rekonstrukciójában lehet fontos szerepe.

Ackers és Charlton (1971) az egyenes és a meanderező meder közötti határvonalat határozta meg, lejtés és vízhozam értékek alapján. Valójában két vonalat határoztak meg: az egyenes típus felső ($S < 0.001Q^{-0.12}$), és a meanderező típus alsó ($S_v > 0.0014Q^{-0.12}$) határát. A kettő közötti kis tartományban egy átmeneti típust találunk, az egyenes medret, melyben már megjelennek a zátonyok. Ackers egy későbbi munkájában (Ackers, 1982) a homokos medrű folyókra adja meg az egyenes és meanderező típus közötti határvonalat ($S_v = 0.0008 Q^{-0.21}$). Ezekben a Q vízhozam már m^3/s -ban van megadva, a lejtés azonban nem mederlejtés, hanem völgylejtés.

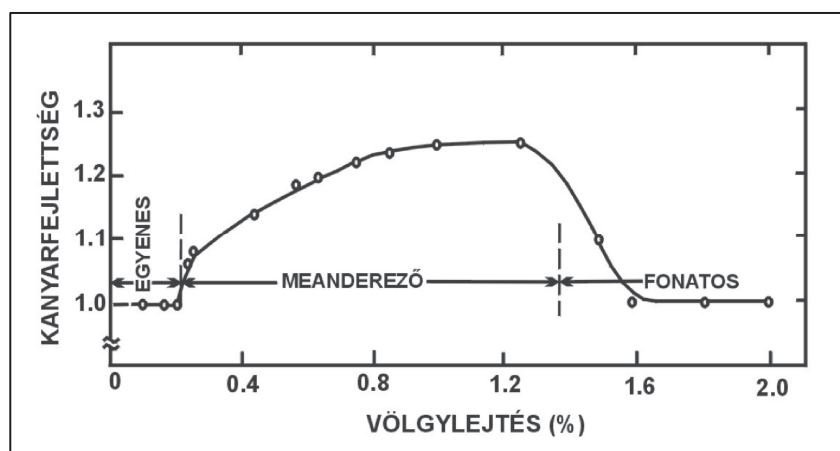
Többen vizsgálták a grafikonon megállapított határvonalakat. Knighton és Nanson (1993) kiegészítették a diagramot a szövedékes meder-típussal, kis esés értékeknél, bár az összehasonlíthatóság miatt valószínűleg jobb lenne a mellékágakat külön-külön vizsgálni. Henderson (1966), Carson (1984) és Fergusson (1987) szerint a fonatosodás kialakulása a mederfenéken található üledék szemcseméretétől is függ. Minél nagyobb ez a szemcseméret, annál nagyobb mederlejtésnél lesz a határ. Van den Berg (1995) szerint a fonatos–meanderező átmenet kevésbé függ a mederkitöltő vízhozamtól, mint ahogy az eredeti diagramon szerepel, és kis módosításokkal átültethető az évi legnagyobb vízhozamok átlagára is. Munkája során azt tapasztalta, hogy a meder-lejtés részben függ a kanyarfejlettségtől, így átváltotta völgylejtéssé (ami alakítípus független). Ezáltal a meanderező és fonatos folyópontok átfedésbe kerültek, nem lehetett köztük választóvonalat húzni. Emiatt vezette be az átlagos évi legnagyobb vízhozamot, ami a mederkitöltő vízhozammal egy nagyságrendbe esik, de kevésbé függ a meder alakítípusától.

Simpson és Smith (2001) a Milk River 78 km-es szakaszát vizsgálta, melyből 28 km meanderező, 47 km fonatos, az utolsó 3 km, egyenes. A fonatos szakasz gradiensét és vízhozamát vizsgálták, és azt tapasztalták, hogy a folyó nem a Leopold és Wolman által definiált tartományba kerül. A Leopold és Wolman által vizsgált folyók medre kavicsos, a Milk River medre homokos. Simpson és Smith javasolják ilyen esetekben az esésen kívül az iszap-agyag tartalom vizsgálatát is. Ugyanis a meanderező szakaszon mérhető 65%-os iszap-agyag tartalom a fonatos részen 18%-ra csökken. Emiatt lecsökken a partfal szilárdsága, a meder kiszélesedik, vízereje csökken, romlik a hordalékszállító-képessége és elindul a zátonyképződés.

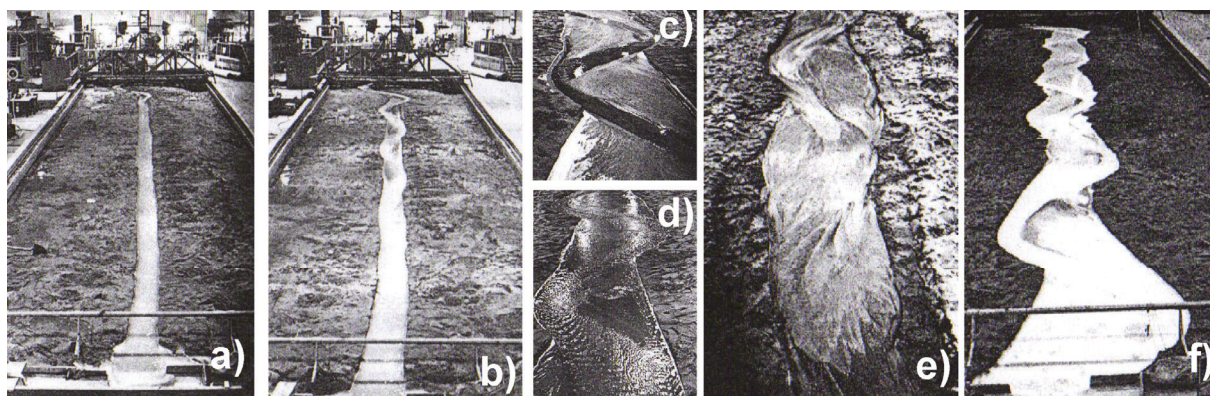
2.3. Növekvő esés, növekvő kanyarfejlettség? – Modellkád-kísérletek

Schumm és Khan (1972) modellkád kísérleteket végeztek, hogy meghatározzák az esés és hordalékhozam változásainak hatását a folyó alaktípusára. Legelőször megállapították, hogy az esés és a hordalékhozam szorosan összefüggnek, majd meghatározták a különböző alaktípusok létrejöttéhez szükséges küszöbértékeket. Kevés hordalék és kis lejtés esetén a folyó egyenes marad. Ahogy növekszik a lejtés, víz- és hordalékhozam, először meanderező, majd fonatos folyót kapunk (2.3., 2.4. ábra). Először csak a sodorvonal kezdett meanderezni. A meanderező meder megjelenésekor a folyó kanyarfejlettsége meghaladta az 1,3-at, és lebegtetett üledék is jelen volt. Az agyag stabilizálta a zátonyokat, és mélyebb medret eredményezett. A változó helyeken megjelenő zátonyok egyesültek, és övzátonyokat alkottak. Valós folyók esetén a hordaléktípus megváltozását okozhatják klimatikus és hidrológiai változások. A modellkád kísérletek eredményeit gyakran elég nehéz kiterjeszteni valós medrekre, hiszen modellezéskor nem lehet az összes lehetséges esetet megvizsgálni, minden paramétert változtatni és ennek hatását elemezni. Ennek ellenére Lane (1957) és Ackers és Charlton (1971) adatai jól illeszkednek Schumm és Khan modelljeire.

Vizsgálták a lejtés és üledékhozam kapcsolatát is, de az üledék szemcseméretét külön nem. Valószínűleg finomabb szemcseösszetételnél, ugyanakkora vízhozam esetén kisebb lejtés és hordalékhozam értékeknél jelenik meg az alaktípus-váltás. A teljes meder akkor kezdett meanderezni, amikor megjelent a lebegtetett hordalék. Azt is bizonyították kísérleteikkel, hogy a természetes rendszerek nem mindig csak fokozatosan reagálnak a megváltozott helyzetre (Schumm és Khan, 1972).



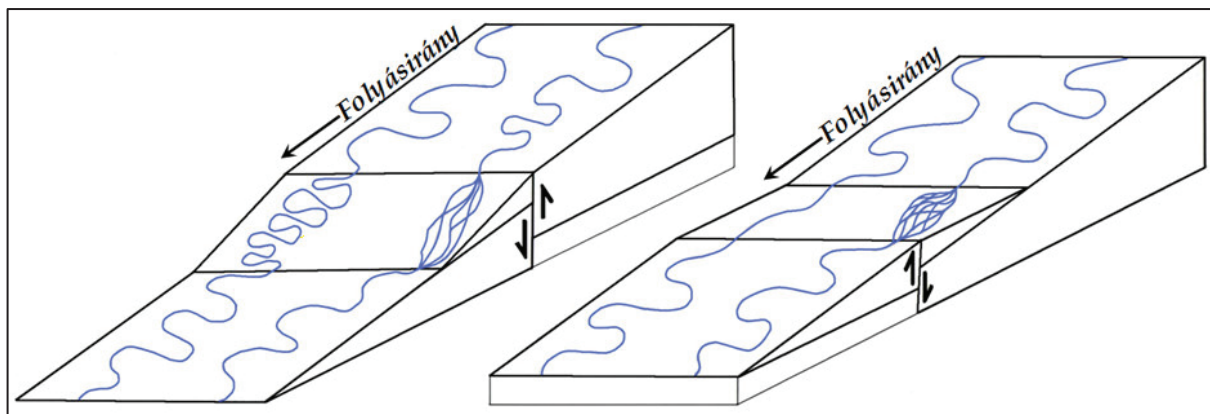
2.3. ábra. A völgylejtés és kanyarfejlettség kapcsolata Schumm és Khan modell-kád kísérletei alapján.



2.4. ábra. Schumm és Khan által a modell-kádakban létrehozott medrek: a) egyenes, b) egyenes, felső részén kialakulóban lévő meanderezéssel, c) és d) még csak a sodorvonal meanderezik, e) fonatos, f) meanderező

Ouchi (1985) munkája során azt tanulmányozta, hogyan reagálnak a különböző alluviális folyók, ha az aktív tektonika hatására megváltozik a völgylejtés. Figyelembe vette a deformáció mértékét és a folyó típusát is. Kísérleteket végzett modellkádakban, majd az eredményeket terepi megfigyelésekkel is alátámasztotta. A kísérletek során ideális eseteket hozott létre, és tanulmányozta a folyó reakcióit a deformáció közvetlen közelében, és attól távolodva (2.5. ábra). A modellkádak után 4 folyót tanulmányozott a természetben.

A modellkád-kísérletek során a kezdeti esés és vízhozam változtatásával, valamint a lebegtetett hordalék megjelenésével különböző alaktípusok és mintázatok jöttek létre, így mind a fonatos, mind a meanderező folyókon vizsgálni tudta a süllyedés és kiemelkedés hatását. A vízbe (0,1 l/s vízhozam mellett) 1000-2000 ppm agyagot is keverték, aminek egy része vékony réteget alkotva leülepedett, s ezáltal stabilizálta a medret. Kiemelkedés hatására az alsó szakaszon az agyagréteg eltűnt, a meder elkezdte erodálni a külső partjait, elkezdődött az övzátöny-képződés, a meder kanyarfejltsége megnőtt (2.5. ábra). A felső szakaszon csökkent az esés, s így a folyás sebessége is. A víz elöntötte az övzátönyokat, az agyag leülepedett, a meder nem volt egyértelmű. Ha süllyedés történt, akkor pont ellentétesen zajlott le a meder változása: a felső szakaszon nőtt meg a kanyarfejltség, és az alsón mosódott el a meder. A kiemelkedés és süllyedés lassan zajlott le, de a meder gyorsan reagált a változásokra. Az esés növekedésének ütemén kívül további fontos tényezők is vannak, amik meghatározzák, hogy a meder mennyire tudja kanyarfejltségének változtatásával korrigálni a megváltozott esést. Ide tartozik például a part stabilitása és a meder erodálhatósága. A kísérletekben a partok viszonylag stabilak voltak, így meggátolták a mederesés teljes kiegyenlítését (Ouchi, 1985).



2.5. ábra: A vertikális felszínmozgások hatása a folyók alakjára, alaktípusára. Ouchi (1985) alapján

Ismert kiemelkedések mentén vizsgált valódi folyók esetében a reakciók hasonlóak voltak. A Post-Vicksburg törés-zónán (Texas, USA) keresztül meanderező két folyó esetében azt tapasztalta, hogy a felszínmozgásokra nem egyforma sebességgel reagálnak. A San Antonio lassabban, aminek az lehet az oka, hogy több az agyag-, és kevesebb a homoktartalma, mint a Guadalupe folyónak, aminek medre és partja is sok homokot tartalmaz. Ez is igazolta, hogy a lebegtetett hordalékot tartalmazó folyók stabilabbak (Ouchi, 1985).

2.4. Medermorfológia és tektonika

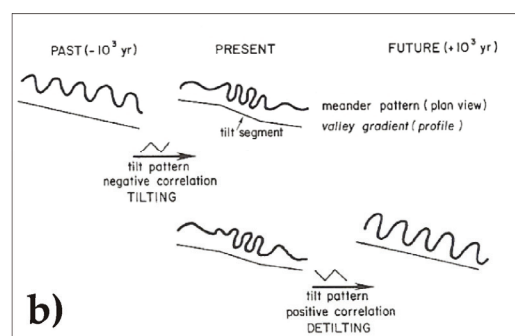
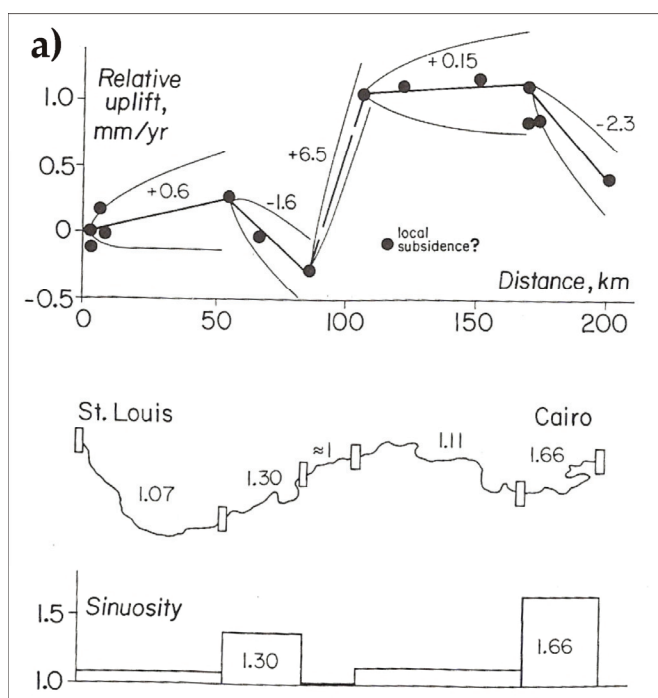
Az aktív tektonika indikátorai között sokféle folyóvízi anomália megtalálható: meanderképződés, fonatosodás, meder szélességének változása, mocsarak, feltöltődés, konvexitás változása a hossz-szelvényben, a medermélység változása, hordalék-lerakódás, degradáció. A régóta jelen lévő tektonika okozta aktív deformáció kiválthat egy választ a folyóban. A deformáció leggyakrabban idézett bizonyítékai a folyóvölgyekben található alluviális teraszok (Schumm, 1986), illetve az azokon kimutatható geometriai torzulások (Pinter, 1996).

Az alluviális folyók érzékenyen jelzik a változásokat. Vizsgálataim szempontjából kellemetlen módon azonban ugyanúgy reagálnak a hidrológiai és hordalék-hozambeli változásokra, mint az aktív tektonikára. Ezáltal nehéz eldönteni, mi okozta a meder megváltozását, mivel az emberi tevékenység és a klímaváltozás hatására is megváltozik a víz- és hordalékhozam az idők során. Az alaktípus megváltozása önmagában még nem elég bizonyíték az aktív tektonikára, inkább csak egy bizonyítékrészlet, amit más morfológiai

bizonyítékkal is alá kell támasztani (hordalék-lerakódás, bevágódás, mérési adatok). Azok a szakaszok, ahol nincs sem szabályozás, sem mellékfolyó-torkolat, legvalószínűbb módon az aktív tektonika eredményei (Schumm, 1986; Pinter, 1996).

Gyakran a folyamat lassúsága miatt nem veszik figyelembe a tektonika folyókra gyakorolt hatását, pedig ha 10 mm/éves felszínmozgással számolunk, néhány évtized alatt már jelentős vertikális elmozdulást kapunk. Emellett a folyók viselkedését számos tényező befolyásolja, nagyon sokra az ember is hatással van (közvetlenül vagy közvetve), így nehéz felismerni, és egyértelműen kijelölni az aktív tektonika által okozott hatásokat (Ouchi 1985). Itt kell megjegyezni, hogy az említett 10 mm/év vertikális elmozdulás a Pannon-medence viszonyai között nem fordul elő (Joó, 1992). A nagyon kis esésű folyók azonban az ennél jóval kisebb függőleges elmozdulásokra is reagálnak (Timár, 2003).

Twidale (2004) szintén a folyók alaktípusát és annak változásait tartja az aktív deformációk indikátorainak, amelyek által könnyebben megérthető egy terület vetőinek fejlődése. Ezt a tanulmányt alapul véve Rachna Raj (2007) India nyugati részén vizsgált egy vízhálózatot, és megállapította, hogy a területen található vetők irányítják a medreket. Konkrétan a Narmada Son vető aktivitását igazolta, azáltal, hogy a vető két oldalán eltért a vízhálózat mintázata.



2.6. ábra. a) Adams számításai a Mississippi St.Louis és Cairo közti szakaszára. Legfelül az ismételt szintezésekből kapott relatív kiemelkedések mm/évben, középen a vizsgált folyószakasz (az eredetihez képest elforgatott helyzetben), míg legalul az egyes szakaszokra kiszámolt kanyarfejltség értékek láthatók.

b) A pozitív és negatív korreláció kapcsolata a kanyarfejltséggel Adams (1980) munkájában

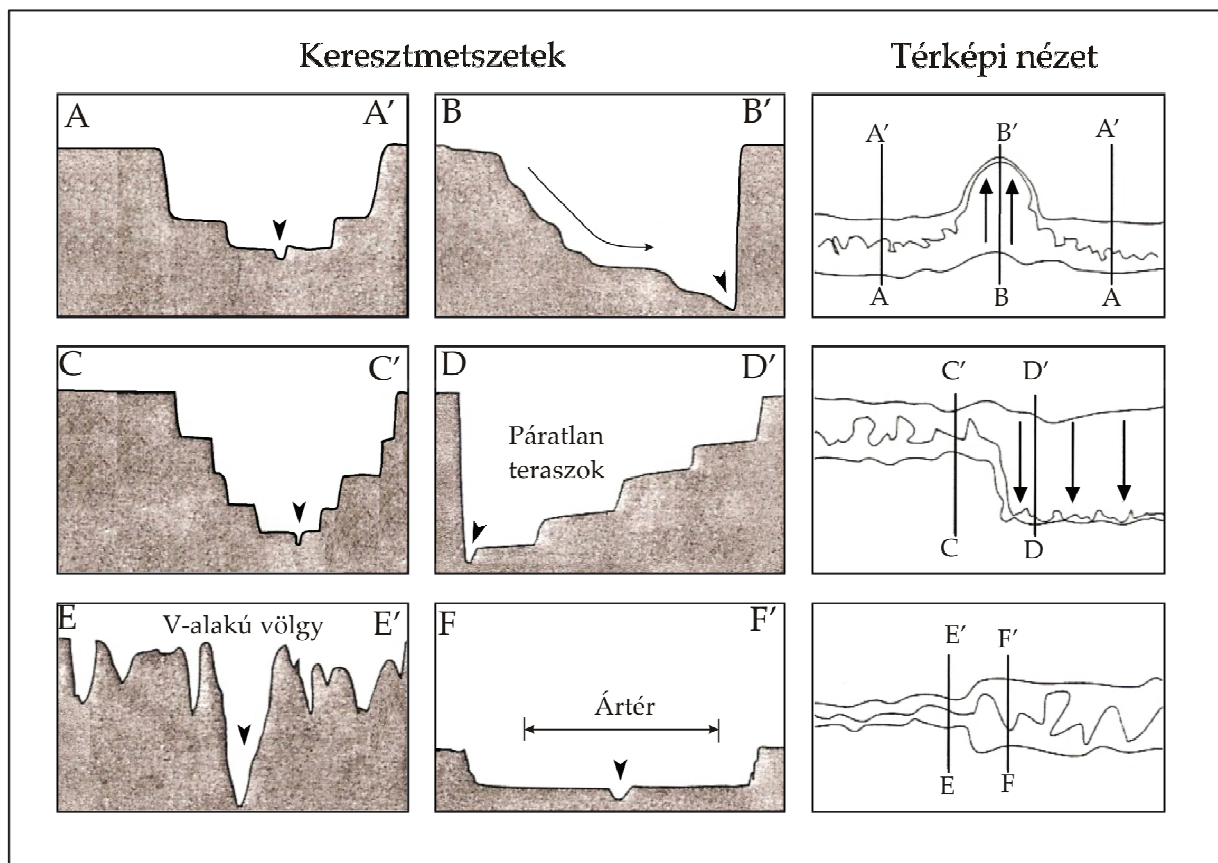
Adams (1980) az elsők között volt, aki a folyók kanyarfejlettségének változásával próbálta bebizonyítani az adott terület aktív dőlését. Munkáját Schumm 1977-es elméletére alapozta, miszerint a folyók, ha a völgylejtés megváltozik, medrük alakításával képesek fenntartani a mederlejtésüket. Ismételt geodéziai szintezések eredményei és a folyók kanyarfejlettség változása között keresett összefüggést (2.6. ábra). A kapott korrelációból kiderült számára, hogy a dőlés valódi oka a kéregben keresendő, nem pedig mérési hibák, vagy felszín közeli jelenségek hozzák létre. Természetesen nála is megtaláljuk azt a kikötést, hogy nem csak a tektonikus deformáció tudja megváltoztatni a folyók kanyarfejlettségét, valamint a folyónak sem a kanyarfejlettség-változtatás az egyetlen lehetséges válasza a deformációra. Ennek ellenére a kapott korrelációk azt a feltevést látszanak alátámasztani, mely szerint a kanyarfejlettség változása a folyóvölgy deformációit örökíti meg, és a folyóknak „karbantartott” állandó lejtéseik vannak.

Adams munkájában nyolc folyószakaszt vizsgált. Ezek közül négynél negatív, háromnál pozitív korrelációt talált. A nyolcadik folyónál nem tapasztalt szignifikáns korrelációt. Ez a folyó kis kanyarfejlettséggel folyt, egy glaciális völgyben, tehát nem is volt alkalmas a vizsgálatok elvégzésére. Negatív korreláció a meanderezés felerősödésére utal, azaz a dőlés és a kanyarfejlettség növekedésére. Pozitív korreláció esetén a jelenlegi mintázat a későbbiekben leegyszerűsödik, azaz csökkenő dőlés hatására a kanyarfejlettség is csökken (2.6. ábra).

Marple és Talwani (1993, 2000) munkájuk során egy észak-északkelet irányú eltemetett vetőrendszer (Keleti Parti Vetőrendszer) létét támasztották alá geomorfológiai, geológiai és geofizikai adatok felhasználásával. A vetőrendszer körülbelül 600 km hosszú, és a Parti Síkság területén található, Észak és Dél-Karolina valamint Virginia államokban (USA). Az 1886-os Charleston-i földrengés az Egyesült Államok keleti felének legnagyobb észlelt földrengése volt. Az átfogó vizsgálatok ellenére kialakulása rejtély maradt a kutatók számára. Először is a területnek a földrengést megelőző húsz évben alacsony volt a szeizmicitása. Másodszor az epicentrum környezetében lévő vetőket nem lehetett közvetlenül tanulmányozni, mivel a terület alatt 700-900 m vastagságú gyengén kőzetesedett kainozoós üledékek találhatók, és a kainozoós vetők menti nagyon alacsony rátájú csúszások is csak kis elmozdulásokat hoznak létre. Így a vetőszerkezet irányultságának meghatározása nehézkessé vált. Ezért próbáltak ki geomorfológiai módszereket a terület kvarter deformációinak detektálására és megismerésére. Az egyik ilyen módszer a folyók geomorfológiájának analízise, mivel a hosszú távú vertikális felszínmozgások rendellenes anomáliákat okoznak a folyórendszerekben. Cikkeikben a területen található törések és kiemelkedések bizonyítékai mellett leírták az anomális folyóvízi morfológiai jelenségeket, valamint elemezték ezeknek a

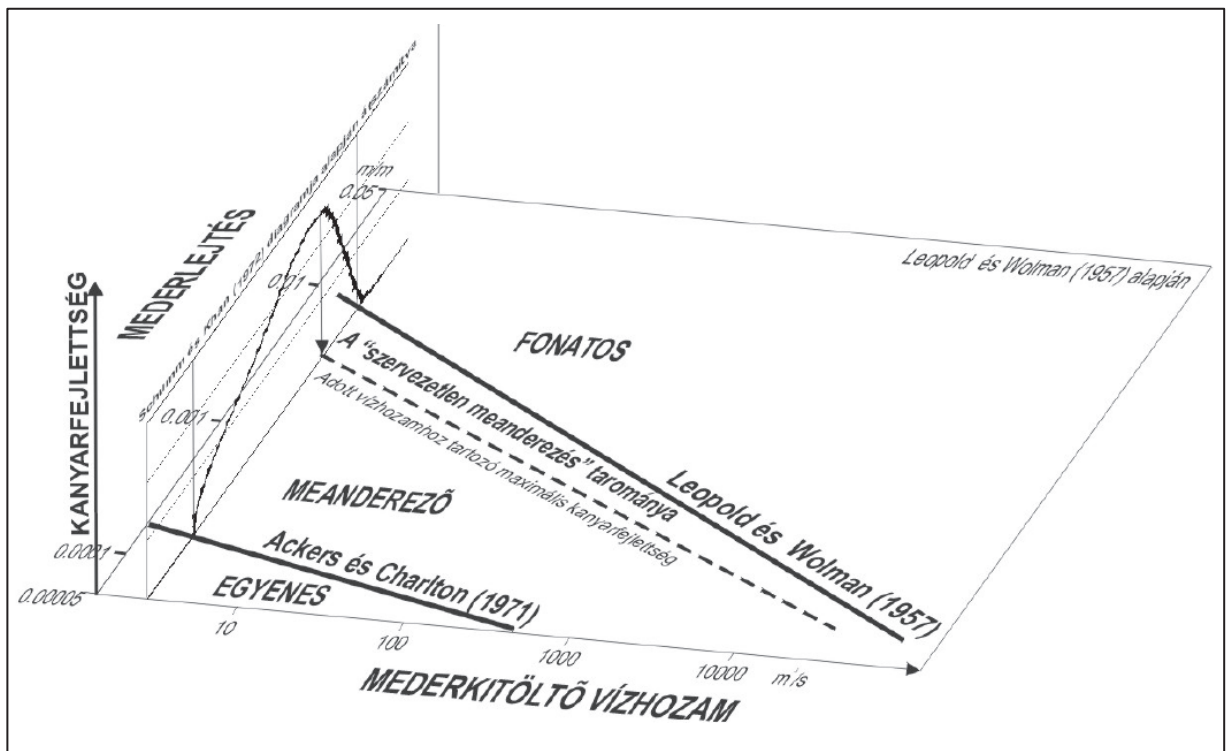
tektonikus következményeit. A folyórendszeren található anomáliákból következtek egy Keleti Parti Vetőrendszer létre. Többféle módon is vizsgálták a folyók morfológiáját. Az eredmények önállóan nem bizonyítják meggyőzően a vetődést, viszont együttesen határozottan sugallják a vetőrendszer létét (Marple és Talwani, 1993, 2000).

Általában a helyi vertikális kiemelkedések a völgylejtés megváltoztatásával befolyásolják a meanderezést, ami viszont hatással van a folyó munkavégző képességére. A folyó megnövekedett energiája következtében töréspontok (az angol szakirodalomban: *knick-point*, míg az amerikaiban *nick-point*) jöhetnek létre a meder vertikális profiljában. A meredekebbé váló szakaszokon a folyó kanyarfejlettségének növelésével próbálja fenntartani az egyensúlyt. Ahogy a kanyarfejlettség növekszik, lecsökken a folyó hordalék-szállító képessége, hordalékát lerakja. Ennek következményei lesznek az áradások illetve a fonatos alakítás kialakulása (Marple és Talwani, 1993). A hossz-szelvények mellett a folyóvölgyek keresztmetszetének változásait is vizsgálták (2.7. ábra), amivel például a völgy lokális dőlését igazolták (Marple és Talwani, 2000).



2.7. ábra. A folyóvölgyek keresztmetszetének változásai az Atlanti Parti Síkság területén Marple és Talwani (2000) munkájában.

Timár (2003a,b) bemutat több összefüggést, melyeket modell-kád kísérletek és természetes folyók elemzésével alkottak meg, a folyók különböző paraméterei között. A völgylejtés – kanyarfejltség (2.3. ábra; Schumm és Khan, 1972), valamint mederlejtés – mederkitöltő-vízhozam – alakítvány diagramokat (2.2. ábra; Leopold és Wolman, 1957; Ackers és Charlton, 1971) egyesítette egy kvázi -háromdimenziós grafikonná (2.8. ábra). Ehhez a völgylejtést mederlejtéssé számolta. Az így létrejött diagramból azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az esés növekedésével növekszik a kanyarfejltség is, amíg el nem éri az adott vízhozamhoz tartozó maximális értéket. Ezt az értéket jelölte meg az önszervező és szervezetlenül meanderező tartományok határának (Timár, 2003a,b). A 3. fejezetben leírt folyódinamikai elemzésemmel ezt az ábrát fejlesztettem tovább.



2.8.ábra. Timár (2003) által egyesített pszeudo-3dimenziós diagram

Timár (2003b) munkája azért is fontos, mert ő javasolja az angol *sinuosity* magyar megfelelőjeként a *kanyarfejltség* elnevezést. Ennek az az oka, hogy a Bulla Béla (1964) által javasolt *futásfejltséget* más képlettel számolják, mint amit Schumm munkáiban találunk. Ha a meder menti távolság A, a légvonalbeli távolság D, akkor a futásfejltség $F=(A-D)/D$ (Szabó, 1993). Schumm (1963) alapján viszont $S=A/D$.

A Pannon-medence folyóit is tanulmányozták többen, több szempontból is. Az elhagyott medrek vizsgálatát már Mike (1975) is megemlíti. Kiköti, hogy csak más módszerekkel együtt alkalmazható, viszont alkalmas a kéregmozgások tendenciájának meghatározására, valamint a késő pleisztocén és holocén formációk pontosabb, részletesebb térképezésére. Dombrádi et al. (2007) fraktálanalízist végeztek a Tisza baloldali mellékfolyóin, majd aktív deformáció okozta vertikális felszínmozgásokkal hasonlította össze. Timár (2003a) a Közép-Magyarországi vonal (Csontos et al. 1992) recens aktivitását mutatta ki a Tisza kanyarfelettségének elemzésével, Emellett az Első Katonai Felmérés térképeit is felhasználva vizsgálta a természetes medervándorlást az Ároktő és Tiszafüred közötti szakaszon, 1785-1858 között (Timár, 2003b). Szakdolgozatomban (Petrovszki, 2008) és későbbi munkáimban a Körös-vízrendszert tanulmányoztam (Petrovszki, 2008; Petrovszki és Timár, 2010). A Kisalföld folyóival Zámolyi et al. (2010) igazolták késő-miocén vetők recens aktivitását. Kovács (2010) Nyugat-Magyarországi patakokat vizsgált. Pišút (2006) az alsó Morava folyó meanderezését tanulmányozta, Szlovákiában.

3. Folyódinamikai összefüggések

Amint azt az előző fejezetben részleteztem, sokan tanulmányozták már a folyók különböző paramétereit, valamint azok összefüggéseit egymással és a folyók viselkedésével. Voltak, akik természetes folyókat vizsgáltak, és történtek modell-kád kísérletek is. Timár (2003a,b) munkájában Leopold és Wolmann (1957) valamint Ackers és Charlton (1971) természetes folyókat alapul vevő, mederkitöltő vízhozam és mederlejtés alaktípussal kapcsolatos összefüggéseit hozta kapcsolatba Schumm és Khan (1972) modellkád kísérletek során létrehozott esés és kanyarfejlettség grafikonjával (2.8. ábra). Mivel a későbbi fejezetekben ismertetett neotektonikai vizsgálatokhoz a Pannon-medence meanderező folyói mentén meghatároztam a kanyarfejlettségeket, így kézenfekvő ötletnek tűnt, hogy megvizsgáljam: a természetes folyók is a modellkádakkal meghatározott esés-kanyarfejlettség trendet követik-e, valamint fennáll-e ugyanez az összefüggés nagyságrendekkel nagyobb vízhozamok esetén is. Az ebben a fejezetben bemutatott eredmények igazolni látszanak az eddigieket. Szerencsére: ha ugyanis az esés változása nem hatna a folyók kanyargására, vagy nem ilyen szabályosan, akkor nem lehetne folyókat használni a vertikális felszín mozgások igazolására.

3.1. Az adatok

A mederkitöltő-vízhozam – mederesés – kanyarfejlettség grafikonhoz vízhozam esés és kanyarfejlettség értékekre van szükség. Kanyarfejlettségeket a folyókra 50 méterenként tudok mondani, nem is egyet. Ezekkel kapcsolatban csak annyi volt a kérdés, melyik ablakméretet használjam. Több ötletem is volt erre:

- *állandó ablakméret* – minden folyónál a pl. 25 km-es ablakkal
- *változó ablakméret* – vízhozam függvényében
- *átlagolt érték* – a 10 ablakkal kapott érték átlaga

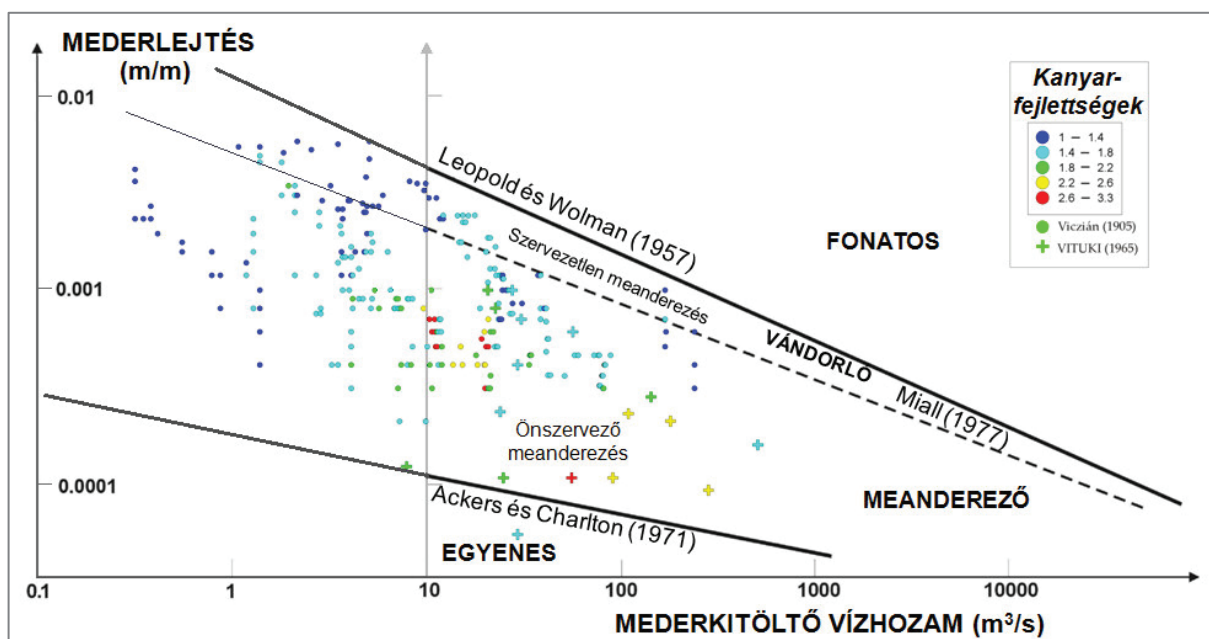
Az esetek 70%-ában maximum 0,1 volt az eltérés a háromféle módon hozzárendelt kanyarfejlettség értékek között, és csak néhány pontnál jelentkezett 0,2-nél nagyobb különbség, így végül úgy döntöttem, hogy az a legegyszerűbb, ha az átlagolást használom.

Esés- és vízhozam-értékek természetesen nem álltak rendelkezésemre 50 méteres, de még 5 kilométeres felbontással sem. Az adatokat Viczián 1905-ös adatbázisából digitalizáltam. Időben ez elég közel esik a Második Katonai Felméréshez, de már a szabályozások után készült; emiatt nagyobb eséseket találunk benne, mint amekkorák a folyók természetes állapotában fordultak elő. Másik hátránya, hogy Vicziánt az ország vízereje érdekelte, tehát csak a hegy- és dombvidéki területeket mérte fel; sok esetben a folyónak épp azt a szakaszát, amelyet nem vizsgáltam, mert ott nincs meanderezés, pl. a Fekete- és Fehér-Körös esetében. A 3.1. táblázatban foglalom össze, melyik folyónál mekkora szakaszt tudtam felhasználni. Mivel a vizsgált folyók többsége alföldi területeken folyik, ezért egy VITUKI (1965) felmérést is belevontam az elemzésbe, így kisebb esésű, nagyobb vízhozamú pontok is kerültek a grafikonra. (3.1. ábra)

Folyó	Vizsgált hossz (km)	Pontok száma	Vízhozam (m³/sec)	Esés (m/km)
Ondava	64	13	0,5 – 1,3	0,4 – 1,8
Laborc	75	14	0,28 – 1,2	0,8 – 4,4
Ung	90	18	1 – 4	0,4 – 5,8
Latorca	37	8	4,4 – 5	1,3 – 6,2
Dráva	260	8	190 – 273	0,3 – 1
Tisza	30	4	39,8 – 41,1	0,7 – 1,2
Garam	200	30	8,2 – 25,8	0,8 – 3,8
Sajó	120	21	3,55 – 8,5	0,2 – 2
Vág	70	4	42,95 – 44	0,47 – 0,8
Maros	470	36	9,8 – 91,1	0,4 – 3,4
Olt	390	62	1,85 – 32,7	0,3 – 3,6
Szamos	266	34	0,92 – 14	0,2 – 8,4
Kis-Szamos	94	10	4 – 5,2	0,3 – 4

3.1. táblázat. A felhasznált folyószakaszok Viczián (1905) adatbázisából

A felmért pontok helységnév-megjelöléssel szerepelnek. Ezeket a térképen megkeresve, koordinátaikat leolvassva, a kanyarfejlettség táblázatokból a hozzájuk tartozó értékek kikereshetők. A vízhozam- és esésértékekkel azonban még további teendők vannak, amelyeket a következő pontokban mutatok be.



3.1. ábra. A 3D grafikonhoz felhasznált pontok (Viczián, 1905; VITUKI, 1965) elhelyezkedése a vízhozam-esés grafikonon. Megjegyzendő, hogy az ábrán még csak az adatrendszerekben megtalálható eredeti értékek lettek ábrázolva, tehát átlagos vízhozam és szabályzott esés. Ezek korrekciója a következő alfejezetekben történik.

3.2. Átlagvízhozam és mederkitöltő vízhozam

Az eredeti grafikonokon mederkitöltő vízhozam szerepel. Az elérhető adatbázisokban azonban csak az átlagos vízhozamok voltak feltüntetve. Esetleg némelyik pontnál minimum és maximum vízhozam is szerepelt. Sajnos a maximum sem megfelelő, ugyanis az, az esetek többségében, árvizet jelent, azaz a víz nemcsak a medret tölti ki, hanem az árteret is. A szakirodalomban több tanulmány is található a mederkitöltő vízhozamról és meghatározásáról, de egyik sem az átlagos vízhozamból indul ki.

A mederkitöltő vízhozam kiszámítására a legtöbb módszert Williams (1978) munkájában találjuk. 11 lehetőséget gyűjtött össze különböző szerzők munkáiból, majd tanulmányozta, kik hogyan határozták meg a mederkitöltő vízszintet és vízhozamot, valamint melyik módszert hol lehet használni. Ezekhez a módszerekhez vizsgálni kell a különböző üledékfelszínek elhelyezkedését (pl.: *völgyfelszín* – Woodyer, 1968; Kellerhals et al., 1972; *ártér* – Wolman és Leopold, 1957; Leopold és Skibitzke, 1967; Emmett, 1972; *kanyarok* – Schumm, 1960; Bray, 1972; Woodyer, 1968; Kilpatrick és Barnes, 1964; *zátonyok* – Wolman és Leopold, 1957; Hickin, 1968;), a környező növényzetet (Schumm, 1960; Bray, 1972; Sigafoos, 1964), a szélesség és mélység arányát (Wolman, 1955; Harvey, 1969), vagy a

meder keresztmetszetét. Némelyik eljárás csak nedves éghajlaton érvényes, bizonyos esetekben csak adott szemcseméret alatt működik. Williams a kapott értékeket ezután összehasonlította a folyók vízjárásával, és meghatározta a mederkitöltő vízhozamok visszatérési gyakoriságát (módszertől függően 1-5 év között volt). Ezt használta fel például Blanka (2010) is a Hernád mederformáló vízhozamának meghatározására (1,1 éves visszatérési gyakoriság alapján).

Mivel Viczián (1905) adatrendszerében nincsenek hosszú idősorok a folyók vízhozamáról, valamint a medrek keresztmetszetét sem tüntették fel az általam használt térképeken, így ez a módszer nem volt megfelelő. Próbáltam olyan tanulmányt keresni, ami közvetlenül a mederkitöltő vízhozam és az átlagos vízhozam között adja meg a kapcsolatot.

Végül van den Berg (1995) munkáját választottam, a számításokhoz ezt használtam fel. Valójában ez sem a kétfajta vízhozam közötti összefüggést tárgyalja, viszont mellékletében több folyóra is megadja az átlagos és mederkitöltő vízhozam nagyságát. Ezek közül kigyűjtöttem a meanderező folyókra vonatkozó mennyiségeket (egyenes és fonatos folyókat is vizsgált). Mivel kis vízhozamú folyók (patakok) esetén az átlagos és a mederkitöltő vízhozam aránya jóval nagyobb is lehet, mint nagyobb vízhozamoknál, ezért csak a 10 m³/s-nél nagyobb vízhozamú folyók adataira illesztettem egyenest. A pontok szórása is nagyobb volt kis vízhozamoknál: pl. 1 m³/s átlagos vízhozamhoz található 10 m³/s és 1000 m³/s-os mederkitöltő vízhozam érték is. Bár megoldható lett volna a kisebb vízhozamokra új egyenest illeszteni, és azzal számolni, az adatok nagy szórása miatt ezeket a pontokat teljesen elvettem.

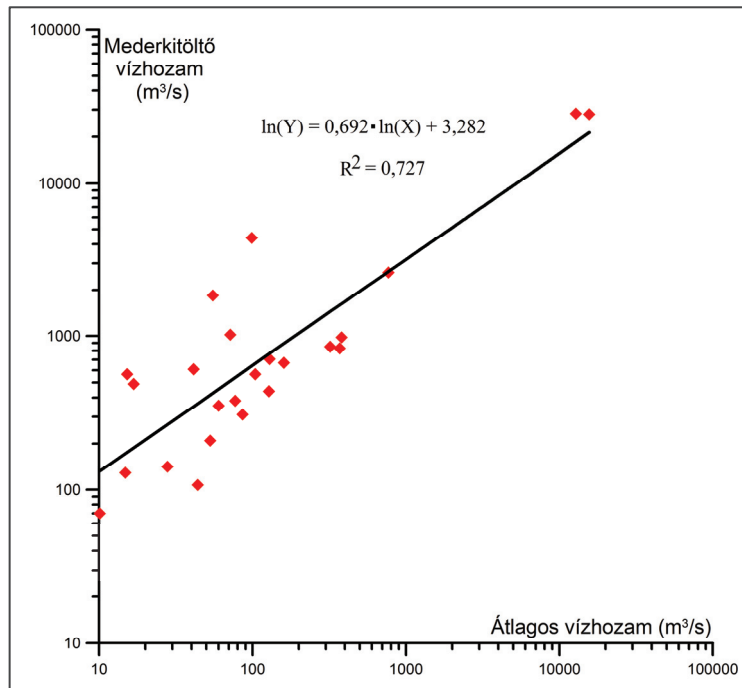
Folyó/patak	Átlagos vízhozam	Mederkitöltő vízhozam	Folyó/patak	Átlagos vízhozam	Mederkitöltő vízhozam
Severn	10,1	70	Murrumbidgee	86	311
Makarewa	14,8	129	N.Saskatchewan	99	4390
Pembina	15,21	566	Murrumbidgee	104	566
Saint Mary	16,79	489,9	White	128	439
Beaver	27,9	141,6	Murrumbidgee	129	708
Pambina	41,3	608,9	Squamish	160	670
Lesser Slave	43,9	107,3	White	320	850
Barwon	53	210	Sinu	370	830
Little Smokey	55	1841	Sinu	380	980
Klondike	60	354	Athabasca	767,5	2605,4
Inangahua	71,6	1018	Mississippi	12800	28320
White	77	382	Mississippi	15600	28000

3.2. táblázat. Az egyenes illesztéshez felhasznált folyók átlagos és mederkitöltő vízhozamai (m³/s; van den Berg, 1995)

Összesen 24 pontra (3.2. táblázat) végeztem el a regresszió-számítást, az illeszkedés egyenlete:

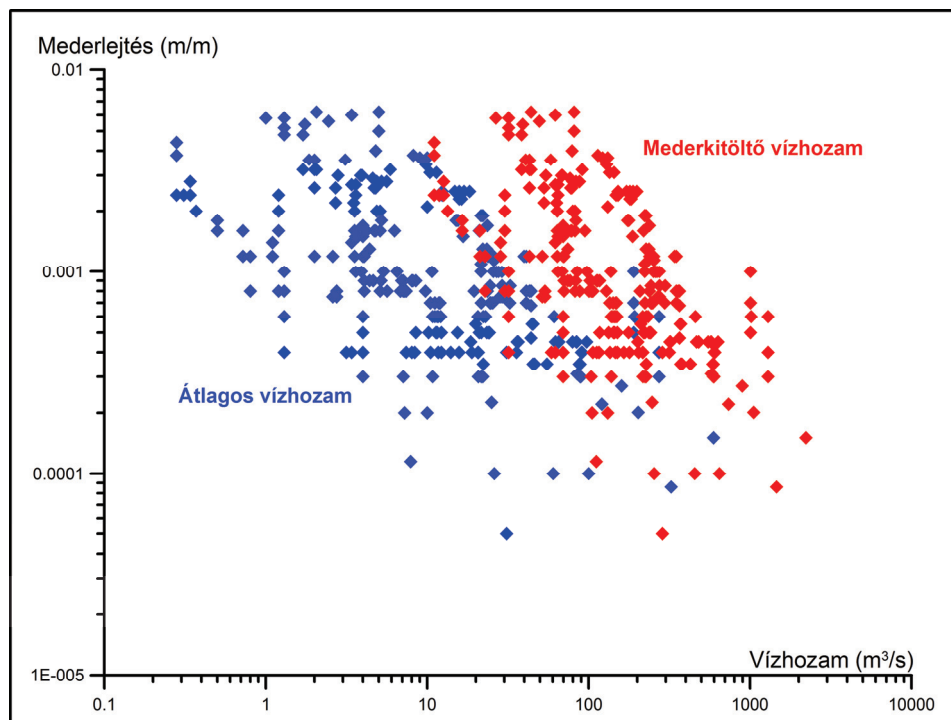
$$\ln(Y) = 0,692 * \ln(X) + 3,282$$

ahol Y a mederkitöltő vízhozam és X az átlagos vízhozam. A 3.2. ábra mutatja be a felhasznált pontokat, és a rájuk a log-log skálán illesztett egyenest. Ezeknek a pontoknak is van szórása ($R^2=0,727$), hiszen természetes folyókról beszélünk, melyeket sok paraméter



befolyásolhat. Ennek ellenére az egyenes követi a pontok által meghatározott trendet. A Pannon-medence folyóinak átlagos vízhozam értékeiből ezt a képletet felhasználva számoltam ki a mederkitöltő vízhozamot. Ennek eredményeképpen a vízhozamok körülbelül egy nagyságrenddel növekedtek (3.3. ábra).

3.2. ábra. Az átlagos és mederkitöltő vízhozamok (van den Berg, 1995), és az illesztett egyenes.



3.3. ábra. Az átlagos (kék) és a számolt mederkitöltő (piros) vízhozamok.

3.3. A folyószabályozások hatása a mederlejtésre

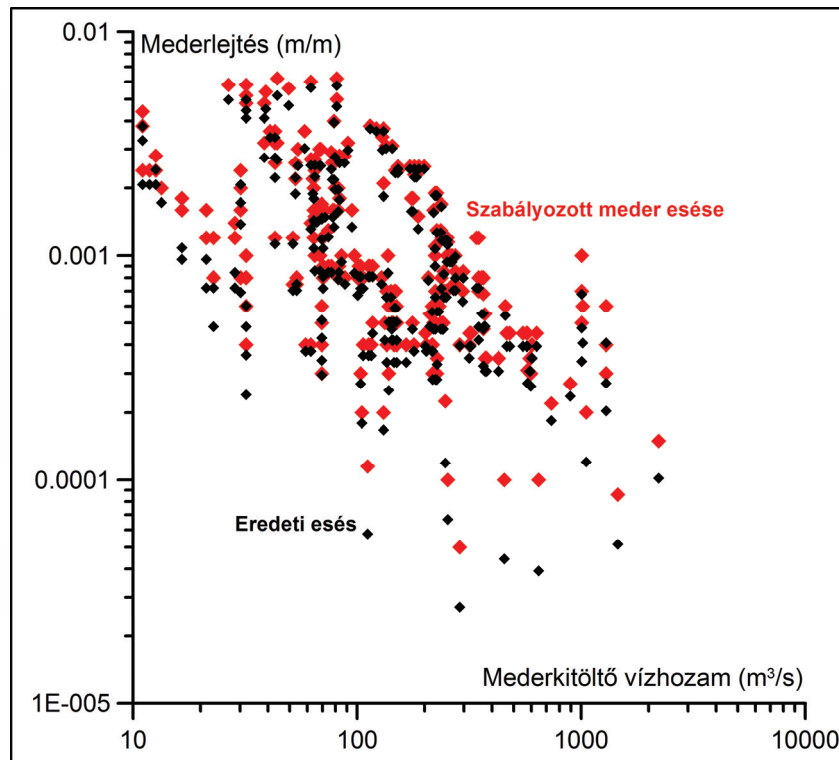
A szabályzási munkálatok során a meanderező folyókat jelentősen egyenesítették, hosszukat lecsökkentették, ezáltal nőtt az esésük. Az 1905-ös felmérés során már a szabályozott esés-értékek lettek felmérve. A korrekciókor a szabályozások feljegyzéseit vizsgáltam meg, ahol leírták, melyik folyót mennyivel rövidítették le. A Tisza természetes mederlejtése Lászlóffy (1982) munkájában is megtalálható. Azoknál a folyóknál, ahol a Viczián féle felmérésből származtak az esés-értékek, ott a korrekciót szakaszonként is el lehetett és el is kellett végezni; a mérési pontok folyamkilométerben voltak megadva, valamint sok helyen jelölték, milyen település mellett végezték a mérést, illetve 1-1 nagyobb város hányadik folyamkilométernél (továbbiakban fkm) található. Ezek és koordinátáik a térképekről visszakereshetők voltak, így a távolságok és a felmérésig elkészült rövidülések pontosíthatóvá váltak.

A Második Katonai Felmérés térképein megkerestem a Viczián által jelzett mérési pontokat. A saját táblázataimból kikerestem, hogy az adott pont nálam hány fkm-nél van. Az eltérésekből meghatároztam, hogy mennyivel rövidült a szabályozások során a meder, amiből kiszámoltam az esés változását. Míg az alföldi szakaszokon akár 40-50%-os rövidülésekkel is találkozhatunk, a felsőbb szakaszokon gyakran a 10%-ot sem érte el, legalábbis az 1905-ig elvégzett szabályozások hatása.

Az természetes mederlejtés-értékek meghatározásához a Pitagorasz-tételt használtam. Az eredeti állapotból a meder hosszát ismerjük, a szabályozottból a lejtés értékét, valamint a rövidített hosszt. Ezek felhasználásával próbáltam meg kiszámolni az eredeti esést, ugyanis nem lineáris a változás. A kapcsolatot az alábbi egyenlettel fejeztem ki:

$$E = \frac{e \cdot x}{\sqrt{e^2 \cdot (1 - x^2) + 1}}$$

ahol E az eredeti esés, e az új esés, x pedig az új és a régi mederhossz hányadosa. A 3.4. ábra az eredeti és a korrigált esés-értékeket ábrázolja, a mederkitöltő vízhozam függvényében. Az esés korrekciója nem okoz olyan nagyságrendű elmozdulást a pontok helyzetében, mint amekkorát a vízhozam átszámolása okozott.



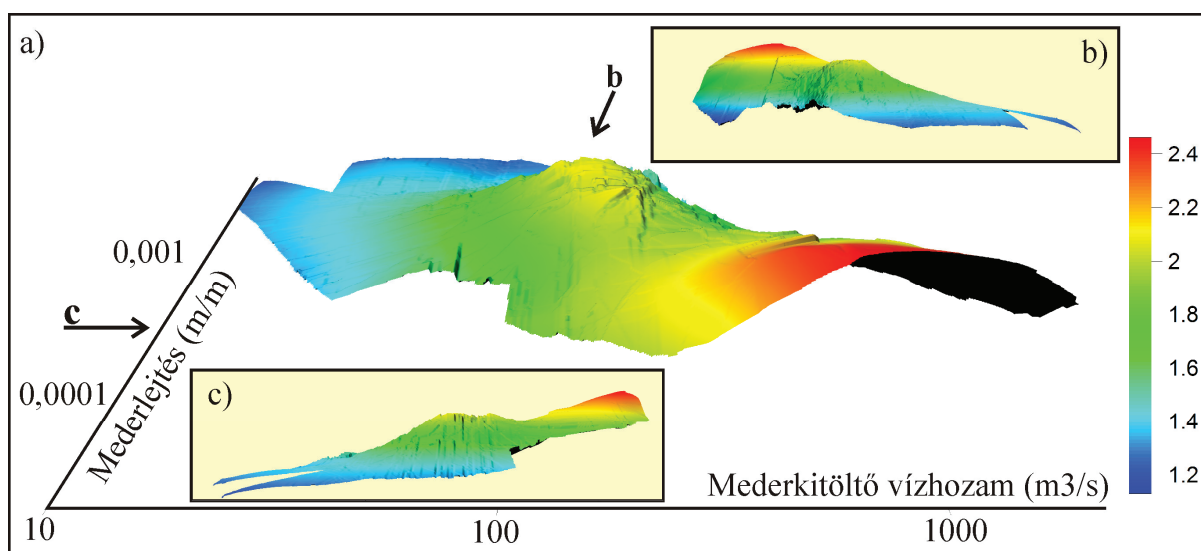
3.4. ábra. A szabályozott (piros, ld. 3.3. ábra piros pontjai) és a kiszámolt természetes (fekete) mederlejtés

3.4. A legvalószínűbb kanyarfejltséget mutató felület létrehozása

A kapott számhármakat ábrázolhatjuk pontonként, színskálával (3.1. ábra). Mivel jelen vizsgálat célja az volt, hogy igazoljuk minden vízhozamra az esés-kanyarfejltség kapcsolatát, így egy felületet illesztettem a számhármakra. Az eredménytől azt várom, hogy adott vízhozamoknál vizsgált keresztmetszetei a Schumm és Khan (1972) által megadott görbét fogják közelíteni. Többféle interpolációs eljárást is kipróbáltam, hiszen mindegyik interpoláció más tulajdonságát hozza ki az adatoknak. Például a krigeléssel, háromszögeléssel és a legközelebbi szomszédot (*nearest neighbor*) figyelembe vevő interpolációval az adott számhármak tényleges értékei rajzolódnak ki. A hiányzó területeken azonban változatos értékeket fedezhetünk fel. A krigelés figyelembe veszi a környező pontok közötti tendenciákat is. A háromszögelés lineárisan interpolál, és 3-3 pontonként egy-egy síkot illeszt az adatokra. A *nearest neighbor* a legközelebbi szomszédos pont értékével teszi egyenlővé a rácspont hiányzó értékét, emiatt az eredmény lényegében egy térbeli lépcsőfüggvénynek néz ki, sok vízszintes, sokszög alakú síkkal. A legszebb eredményt a lokális polinom illesztés adta

(3.5. ábra). Erről az interpolációról azt kell tudni, hogy egy burkológörbét illeszt az adatokra. Azért ezt használom, mert valójában az általam vizsgáltakon kívül további tényezők is vannak, amelyek meghatározzák a folyók viselkedését (*ld. 2.1. fejezet*). Amíg mindet nem lehet kvantitatív módon figyelembe venni (jelen vizsgálatnak ez nem is volt célja), addig burkoló görbével közelítem a vizsgált összefüggést leíró absztrakt felületet.

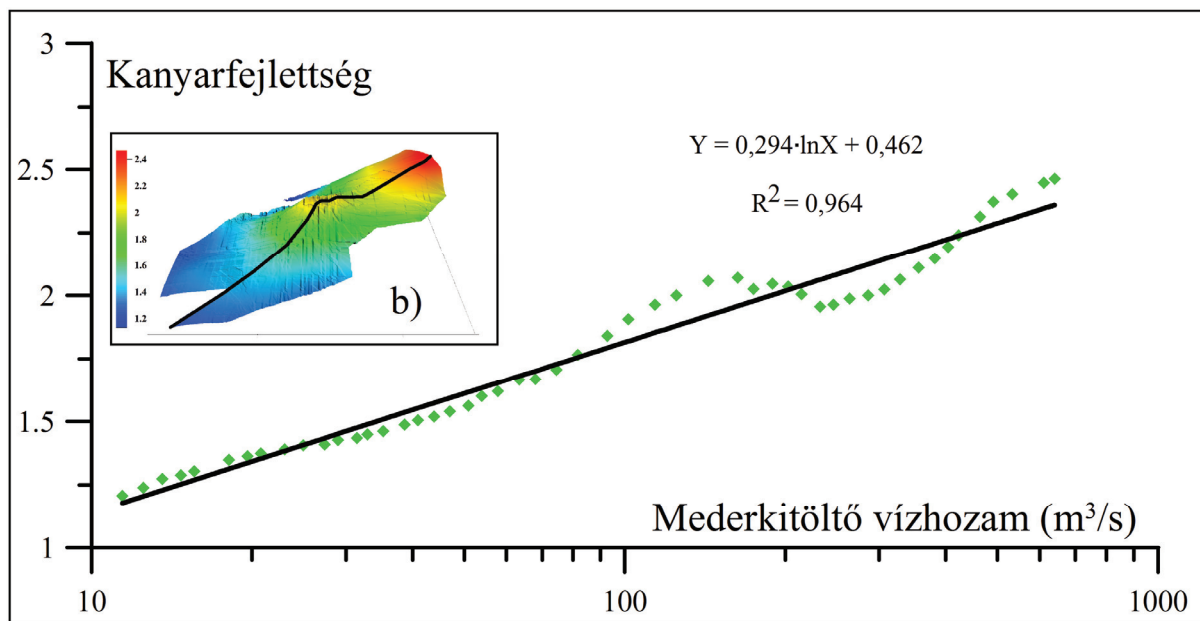
A használt interpolációs eljárás extrapolációt is végez, ezért az adatokon egy *blankelést* is elvégeztem. Ennek eredményeként a kapott felület csak abban a tartományban tartalmaz értékeket, ahol volt adat. A 3.5. b. és c. ábrán a létrehozott felületet ábrázoltam mederlejtés és mederkitöltő vízhozam irányából, oldalnézetből. Ezzel az ábrázolással láthatóvá válik, hogy a vizsgált, különböző esésű folyók kanyarfejltségei mennyire követik a Schumm és Khan (1972) által meghatározott elméleti görbét. Az is megfigyelhető, hogy nagyobb vízhozamoknál nagyobb kanyarfejltség-értékek fordulnak elő.



3.5. ábra. A Pannon-medence folyóinak mederkitöltő vízhozam, mederlejtés és kanyarfejltség értékeire illesztett absztrakt felület lokális polinom-illesztéssel. A kanyarfejltség értékek változását színskála jelzi. **b)** és **c)** ábrákon a felületet a nyilakkal is jelzett oldalnézetből mutatom be: mederkitöltő vízhozam (b) és mederlejtés (c) irányából. Ezekben a grafikonokon a tengelyek a szokásostól eltérően, jobbról balra nőnek.

A laboratóriumi kísérletekben számos tényezőt nem vettek/vehettek figyelembe. Például a part növényborítottságát elég körülményes lenne modellezni. A modellkádak mérete is jelentősen növekedne, de a kísérletek időtartama is, ha türelmesen kivárnák a bokrok, fák megnövekedését. Emellett az allúvium illetve a szállított hordalék változtatása sem olyan egyszerű. Ackers (1982) kiegészítette Ackers és Charlton (1970) eredményeit azzal, hogy homokos medrű folyókra más választóvonalat állapított meg. A legtöbb modellkád kísérletet

homokos mederben végzik. A homokot a víz aránylag gyorsan tudja erodálni, alakítani, így könnyű vele modellezni, még kis vízhozammal is. A természetben viszont többféle hordaléktípussal találkozhatunk, folyónként eltérő mennyiségben. Az eltérő hordalékhozam korrekcióba vételével tovább javulna a mederlejtés – vízhozam – kanyarfejlettség adatok által alkotott felület. Egy ennél kisebb mértékű, bár kihagyhatatlan korrekciót azonban még el kell végezni az eredeti pontokon: az átöröklött völgyek mentén található pontok törlését.



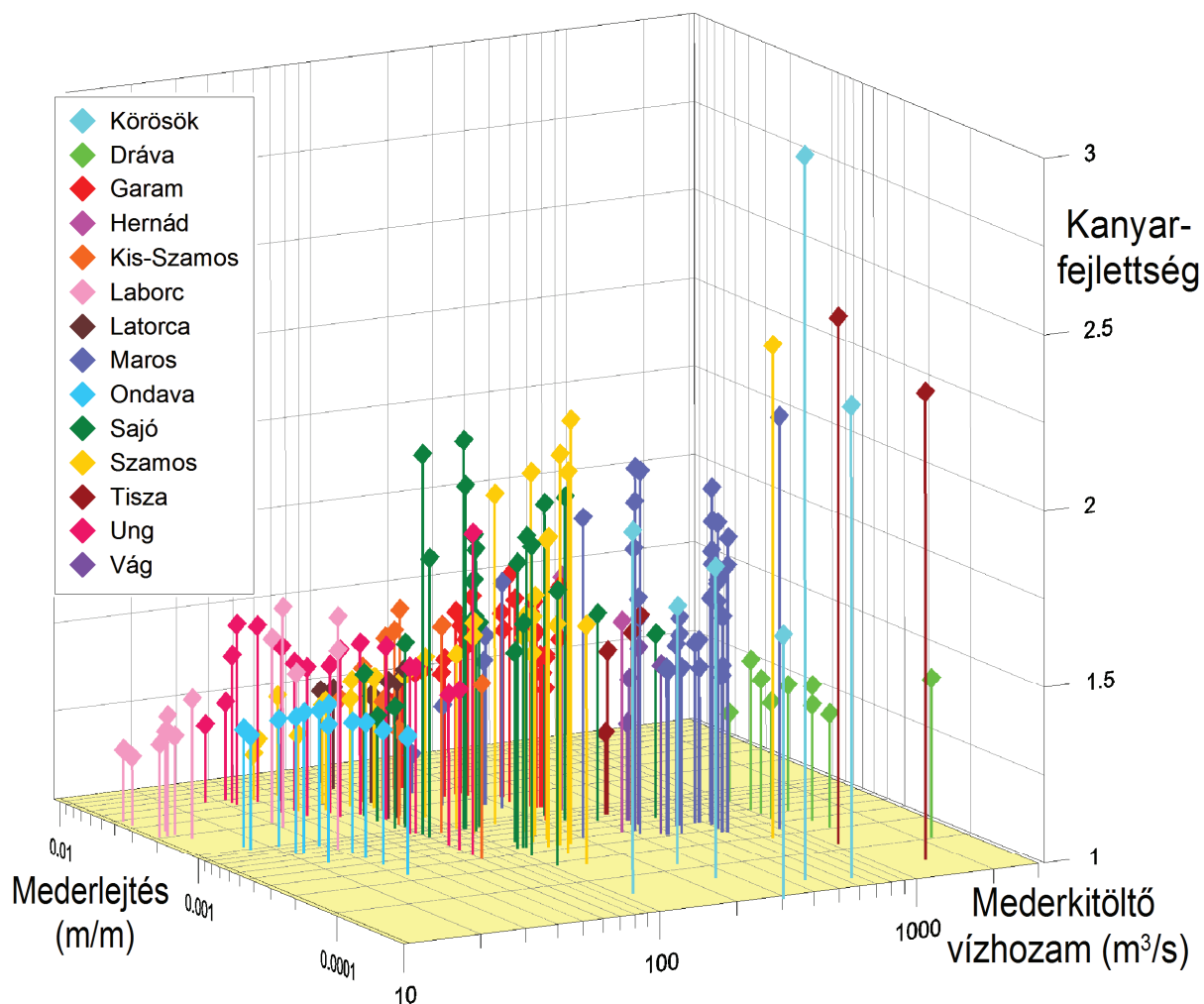
3.6. ábra. Keresztszelvény a felület adott vízhozamoknál kialakult maximum kanyarfejlettség-értékein keresztül. A legtöbb esetben a növekvő vízhozammal az elérhető maximum kanyarfejlettség is nő. A 100-200 m³/s-nál található lokális maximum lehet az eltérő hordalék-viszonyok vagy a polinom-illesztés következménye is, de nagy valószínűséggel a bevágódott, nem alluviális folyóvölgyek hatása. b) a keresztszelvény helye a felületen.

A 3.6. ábrán egy keresztszelvényt mutatok be az illesztett felület adott vízhozamaihoz tartozó maximális kanyarfejlettség értékeken keresztül. Jól látszik a 100-200 m³/s-nál kialakult lokális maximum (3.5. ábra, 3.6. ábra). Ha az eredeti értékekkel is összevetjük, még jelentősebb az itteni változás, ezért megvizsgáltam, melyik folyók okozzák: a Szamos és az Olt. Ez azért is érdekes, mert pont ezen folyók mentén találhatók olyan szakaszok, amelyek nem alluviálisak, hanem bevágódtak az alapkőzetbe, tehát nem szabadon meandereznek.

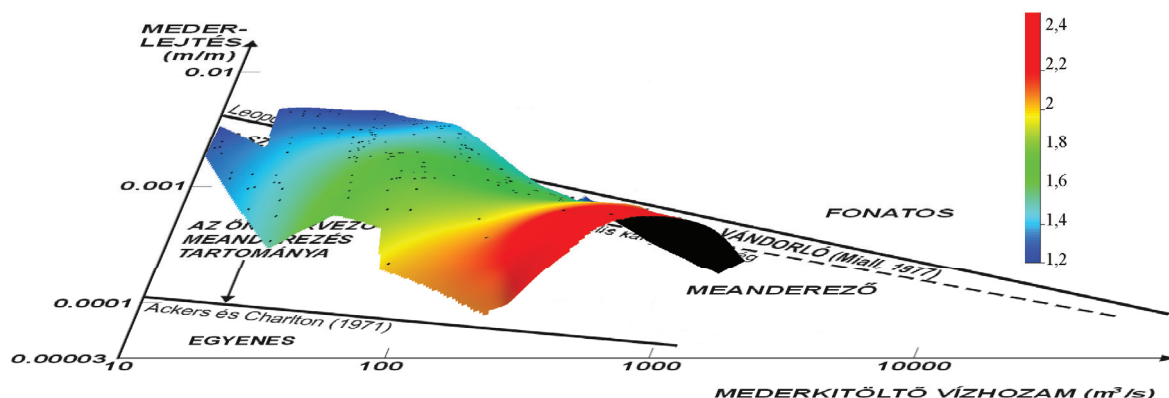
A Szamos esetében Zsibó környékén található az antecedens mederszakasz. Ennek a területnek jelentős a kanyarfejlettség-növelő hatása, a kanyar méretéből adódóan főleg a nagyobb ablakméreteknél. Mivel az 5-50 km-es ablakméretekkel számolt kanyarfejlettség értékek átlagát használtam, ezért azokat a pontokat, melyeket Viczián (1905) Zsibó 25 km-es körzetében mért fel, töröltem a felület létrehozásához használt adatokból. Az Olt mentén több ilyen szakasz is található, ezért végül az Olt egyetlen pontját sem használtam fel a felülethez.

3.5. Az eredménygrafikon és diszkussziója

A 3.1. ábrán csak színezéssel érzékeltettem az eredeti pontok kanyarfelettség-értékeinek változását. A 3.7. ábrán bemutatom a felületillesztéshez felhasznált pontok elhelyezkedését a mederkitöltő-vízhozam – mederlejtés függvényében, folyónként eltérő színekkel, a korrekciók elvégzése utáni állapotukban. Ezekből a pontokból lokális polinom illesztést használva a 3.8. ábrán látható simított felületet hoztam létre. Mindkét ábrán jól látszik, hogy adott vízhozamokat vizsgálva, ha elegendő pont áll rendelkezésre, a Schumm és Khan (1972) által modellezett görbét (2.3. ábra) kapjuk vissza.



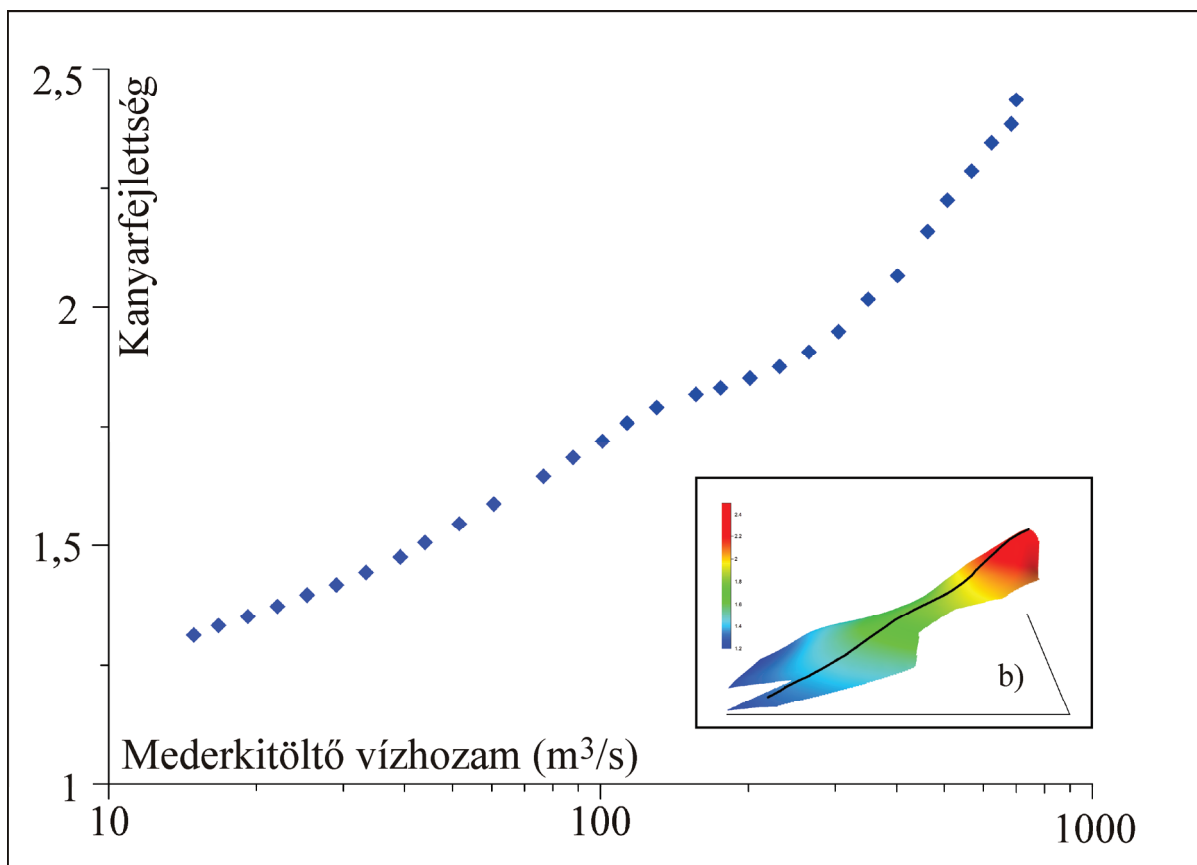
3.7. ábra. A felületillesztéshez felhasznált pontok elhelyezkedése a mederlejtés-mederkitöltő vízhozam függvényében. A különböző folyókhoz tartozó pontokat eltérő színekkel jelöltem. Az ábrán sem az Olt pontjai, sem a Szamos bevágódott szakaszát jellemző pontok nem szerepelnek. Nagyobb vízhozamok felé haladva egyre nagyobb elérhető maximális kanyarfelettség-értékek jelennek meg.



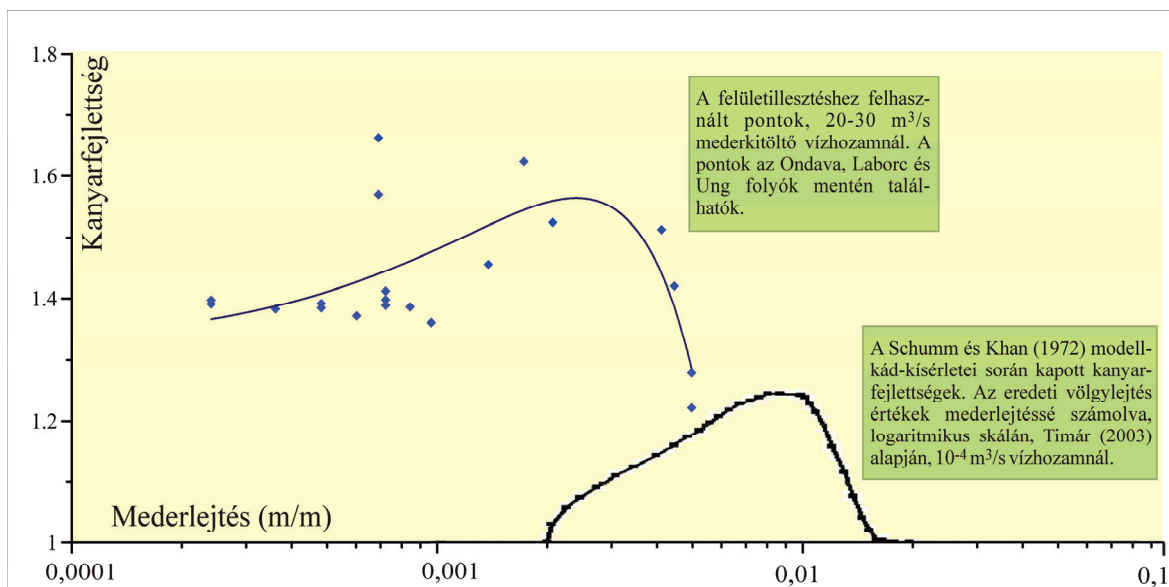
3.8. ábra. A legvalószínűbb kanyarfejltséget mutató absztrakt felület a Pannon-medence folyóinak esés-mederkitöltő vízhozam-kanyarfejltség értékeire, a bemutatott korrekciók után, lokális polinom illesztéssel. A fekete pontok az illesztéshez felhasznált pontok elhelyezkedését mutatják, a kanyarfejltség változását a színskála jelzi.

Stølum (1996) a π -t (3,14) adta meg a meanderező folyók várható kanyarfejltség értékének. A Pannon-medence folyói mentén az látszik, hogy ekkora kanyarfejltség csak adott vízhozam fölött jöhet létre (3.1. és 3.7. ábra; 4.4. fejezet). Schumm és Khan (1972) modellkád-kísérleteiben a maximálisan elért kanyarfejltség 1,3 volt (2.3. ábra). Az általam vizsgált folyóknál a legkisebb vízhozamok esetén volt ekkora a maximális kanyarfejltség, míg nagyobb vízhozamoknál ennél jóval nagyobb értékek jelentek meg. Ennek bemutatására készítettem egy újabb keresztmetszelyt az eredmény felület maximumain keresztül (3.9. ábra). Ebből az derül ki, hogy minél nagyobb a vízhozam, annál nagyobb kanyarfejltséget érhet el a folyó. Valószínű azonban, hogy ez nemcsak a megnövekedett vízhozam miatt van így, hiszen az leginkább csak a kanyarok méretére van hatással. A nagyobb vízmennyiség viszont több, és többféle hordalékot tud szállítani, ami már a folyó alaktípusát is befolyásolja.

A 3.9. ábrán bemutatott vízhozam-kanyarfejltség összefüggés valószínűleg csak a Pannon-medencére jellemző, de más területeken is nagyjából hasonló görbét lehetne létrehozni. Itt jegyezném meg, hogy a természetben nagyon kis vízhozamú patakoknál is előfordulhat jelentős kanyargás. Schumm és Khan (1972) modellkád-kísérleteikben pedig $10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ (0,1 l/s) vízhozam mellett 1,3-as kanyarfejltségű vízfolyásokat hoztak létre. Ezek alapján valószínűsíthető, hogy az adott vízhozammal elérhető maximális kanyarfejltségek egy ellaposodó görbe mentén helyezkednek el.



3.9. ábra. Keresztszelvény az adott vízhozamhoz tartozó maximális kanyarfejltség-értékeken keresztül, a bevágódott folyópontok nélküli felületen (b). Nagyobb vízhozamoknál nagyobb kanyarfejltségek jelennek meg, azonban a kapcsolat nem tekinthető lineárisnak, így egyenest sem illesztettem rá.

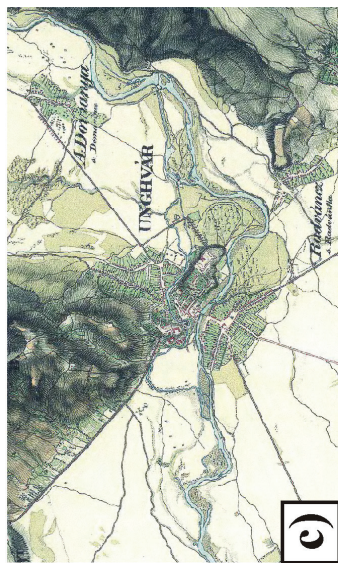


3.10. ábra. A 20-30 m³/s-os mederkitöltő vízhozamnál található mederlejtés és kanyarfejltség-értékek (kék pontok) és a rájuk illesztett görbe (polinom-illesztéssel, sötétkék vonal). Schumm és Khan (1972) modellkád-kísérleteinek eredményét a fekete vonal jelzi (10⁻⁴ m³/s vízhozamnál). Schumm és Khan (1972) eredetileg völglejtéssel adták meg az összefüggést, amit Timár (2003b) számolt át mederlejtéssé.

Adott vízhozamok esetén a 2.3. ábrán látható mederlejtés-kanyarfejlettség összefüggéshez hasonlót vártam. Bár nem minden vízhozamhoz található kanyarfejlettség-érték a teljes meanderező tartományban, a 20-30 m³/s-os mederkitöltő vízhozamnál megfelelő mennyiségű, és kellően változatos mederlejtésű pont állt rendelkezésre egy keresztmetszvény létrehozásához (3.10. ábra). A kapott görbe a várakozásnak megfelel: egy adott mederlejtés elérése után a kanyarfejlettség már nem nő tovább, hanem csökkenni kezd.

Azt a tartományt, amikor a növekvő eséssel a kanyarfejlettség csökkenni kezd, szervezetlen meanderezésnek hívjuk (Timár, 2003), illetve Miall (1977) alapján itt található a *vándorló* típus, ami átmenetet képez a meanderező és a fonatos alaktípusok között. Részben az eddigiek igazolására, visszakerestem a terület e részének létrehozásához használt eredeti pontokat, és megvizsgáltam a katonai térképen hozzájuk tartozó folyószakaszokat (3.11. ábra). Annak ellenére, hogy nem modellkádak folyóiról van szó, tehát az eddig vizsgáltakon kívül további tényezők is befolyásolják viselkedésüket, az említett folyószakaszokon sok esetben felfedezhetők a vándorló típus jellegzetességei.

A kanyarfejlettség-esés-vízhozam összefüggés vizsgálatával, azzal, hogy a Pannon-medence természetes folyóira is megvizsgáltam, hogy a részben modellkádakra felállított elméleti változások a valós medrekre is működnek, azt is igazoltam, hogy a kanyarfejlettségek változása ténylegesen összefügg az esés-változással, így használható az esés-viszonyok változásainak detektálására. Emellett az is részben igazolva lett ezáltal, hogy eltérő vízhozamok esetén a maximális kanyarfejlettség eltérő, így a későbbiekben bemutatott különböző vízhozamú folyóknál a kanyarfejlettségek egységes skálán való ábrázolásának sincs sok értelme.



c)



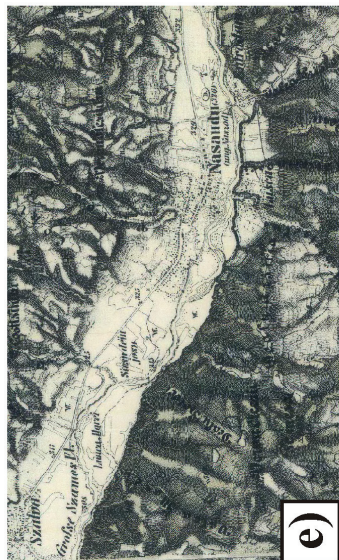
b)



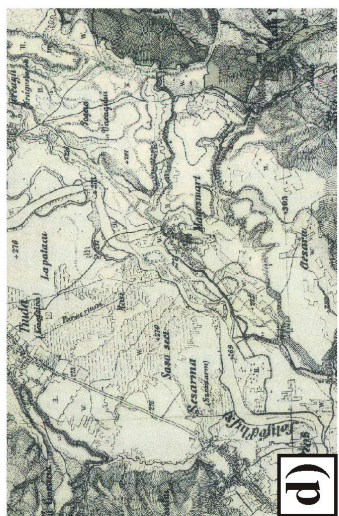
a)



f)



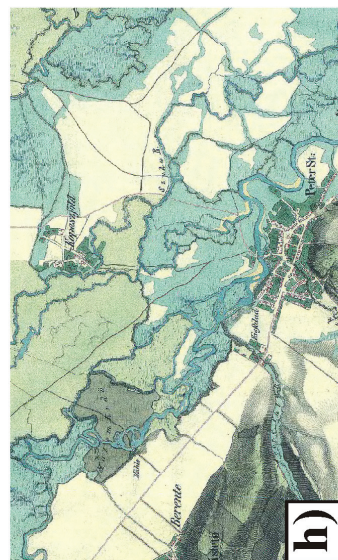
e)



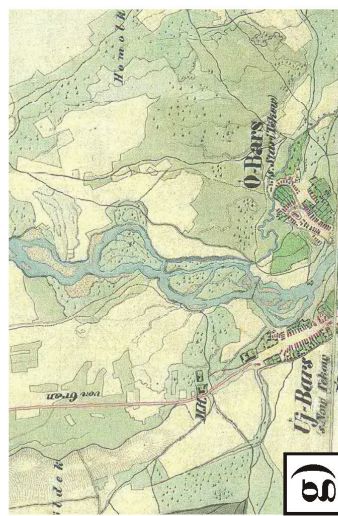
d)



i)



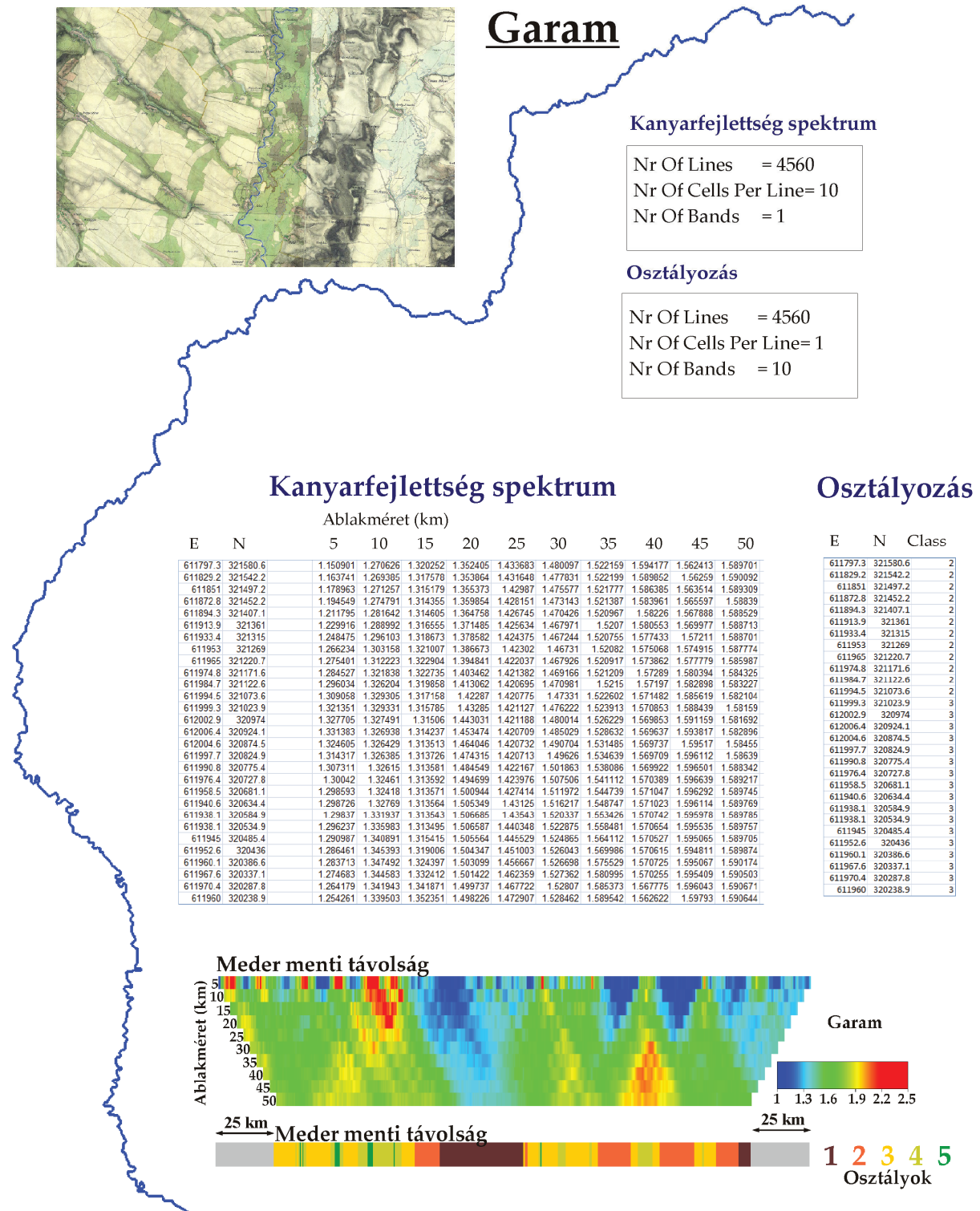
h)



g)

3.11. ábra. Példák a Második Katonai Felmérés térképeiről a vándorló/szervezeiellenül meanderező folyószakaszokra. **a)** Labor (Horbok Csebineye); **b)** Ung (Nagyberezna); **c)** Ung (Ungvár); **d)** Szamos (Magosmart); **e)** Szamos (Szahya); **f)** Latorca (Latorca); **g)** Garam (Bars); **h)** Sajo (Sajószentpéter); **i)** Maros (Déva).

4. A történeti térképtől a kanyarfejlettség spektrumig – a feldolgozás lépései

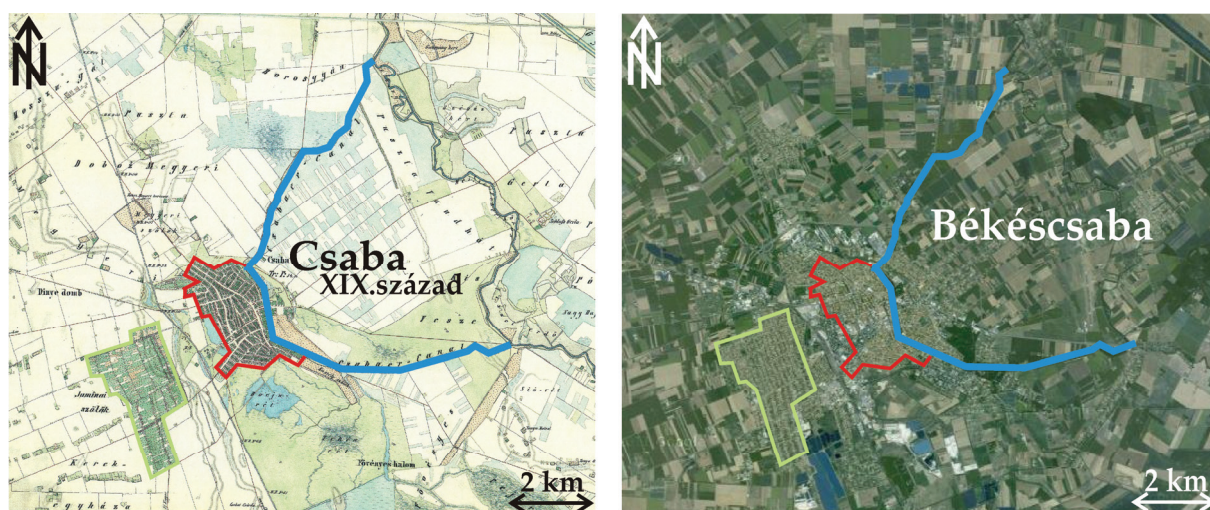


4. ábra. A feldolgozás folyamatábrája: digitalizálás, kanyarfejlettség számítás és osztályozás (Garam példáján).

4.1. A folyószabályozások nyomai – melyek a természetes medrek?

Munkám során a Második Katonai Felmérés georeferált térképlapjait használtam. A térképek körülbelül másfél évszázaddal ezelőtt készültek, így olyan állapotokat is dokumentálnak, amelyeket ma már más forrásokból nem biztos, hogy megismerhetünk, vagy nem ilyen részletességgel.

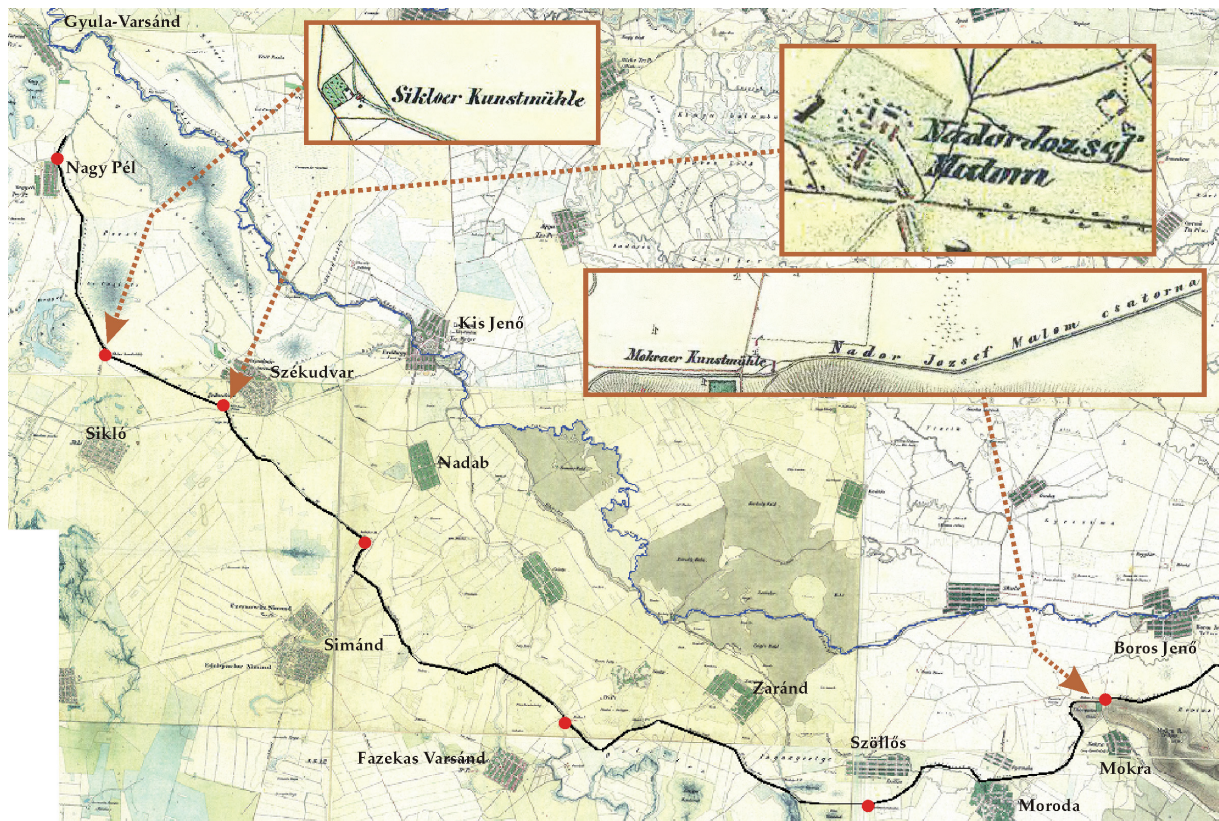
A folyók medreivel foglalkoztam, de fontos eredményeket kaphatnánk akkor is, ha a környezet változását, a városok növekedését, a földhasználat megváltozását vagy a mocsaras területek csökkenését vizsgálnánk. Ha több időszakból is rendelkezésünkre állnak ilyen, vagy hasonló térképek, akkor a változások folyamatát is nyomon követhetjük, de sok esetben már az is nagyon hasznos, ha bepillantunk az ember természetátalakító munkájába. Legelőször a települések tűnnek fel, amelyek természetesen 150 évvel ezelőtt még jóval kisebbek voltak, mint napjainkban. Ezeket gyakran szántóföldek, legelők és erdők vették körül, a szomszéd falvakkal, városokkal közút, néhol vasút kötötte össze. Mára a falvakból városok lettek, megjelentek az autópályák, és megfogyatkoztak az erdők.



4.1. ábra. Békéscsaba a Második Katonai Felmérés idejében és napjaink műholdképén (Google Earth). A kék vonal az 1777-ben kiásott Élővíz-csatornát, míg a piros a város XIX. századi kiterjedését jelöli. A halványzölddel körberajzolt *Jaminai szőlők* területét mostanra a kertváros foglalta el, a beépített rész megsokszorozódott, a város közigazgatási határa pedig már rá sem fér az ábrára.

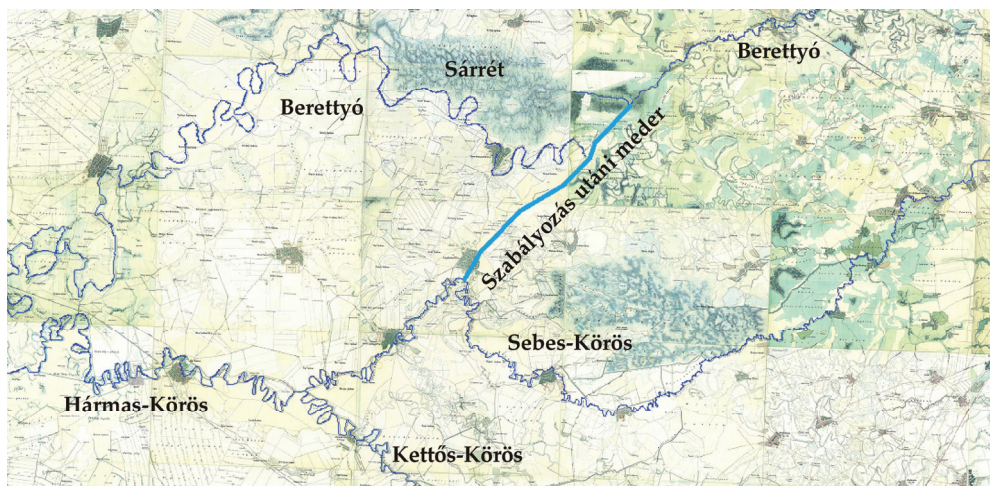
A hegyvidéki erdők irtása maga után vonja a talaj pusztulását, és megjelennek a záporárvizek. Az erdőirtás káros következményeit az alföldi területeken is láthatjuk, bár ott kicsit más formában jelennek meg (szikesedés, futóhomok). A Tisza és a Körösök mentén ezzel szemben az elmocsarasodás volt megfigyelhető. Az ehhez vezető út sem kizárólag természetes eredetű volt. Várárkok és vízimalmok létesítésével megváltozott a folyók folyása, sebessége, esése (Lászlóffy, 1982). A szükséges karbantartások elmaradásával a mocsarak egyre nagyobb teret nyertek. Ezeket kezdetben lecsapolással próbálták visszaszorítani, majd

csatornákat ástak (pl.: Élővíz-csatorna, Békéscsaba 4.1. ábra), megszüntették a vízimalmokat (vagy áthelyezték egy külön erre a célra létrehozott folyómederbe – pl.: József Nádor Malomcsatorna 4.2. ábra) illetve néhol folyókanyarokat vágtak át. Sajnos a kezdeti mederátvágásokat általában nem egységes tervek szerint hajtották végre, nem megfelelő sorrendben, időben, méretben. Mikor az egységes, összehangolt folyószabályozásra sor került, sok esetben kiderült, hogy az elvégzett munkák nem megfelelőek, vagy épp feleslegesek voltak (Ihrig et al., 1973).



4.2. ábra. A József Nádor Malomcsatorna Gyulavarsánd és Borosjenő közötti szakasza. A piros pontok a malmokat jelölik. A kis ábrákon néhány malom kinagyított részlete látható.

A szabályozási munkákat néhol már az általam vizsgált térképen is ábrázolták. Sok helyen bejelölték a tervezett átvágásokat, a létesítendő új mederszakaszokat. A legszembetűnőbbek a Berettyó mentén történt változások. Az eredeti folyó a Nagy-Sárrét területén szétterült, majd miután ezen a nagyon lapos területen valahogy keresztüljutott, újra mederben folytatta tovább az útját, míg végül sok kanyargás után a Hármaskörösbe torkollt. A szabályozási munkák során a Sárrétet megszüntették, lecsapolták, a Berettyót pedig kettéválasztották. Keleti szakaszát, mielőtt a Sárrét területére ért volna, belevezették a Sebes-Körösbe. Nyugati medrét a Hortobágy-csatornával egyesítették és természetesen egyenesítették is, s így Hortobágy-Berettyó néven érkezik meg a Hármasköröshöz. (4.3. ábra)



4.3. ábra. A Berettyó szabályozása

Nagyobb léptékű munka volt a Fekete- és Fehér-Körös összefolyásának szabályozása is. Az árvizek miatt a Fehér-Körös már nem folyik keresztül Gyulán, az eredeti békési összefolyást pedig 12 km-rel feljebb alakították ki, mindkét esetben egyenes mederben, a városon kívül vezetve tovább a folyót (Jankovich és Erdmann, 1991; 4.4. ábra). Minden szabályozott folyó mentén jelentős rövidülésekkel találkozunk, a kanyaroknál átvágásokkal, s ezáltal esésnövekedéssel.

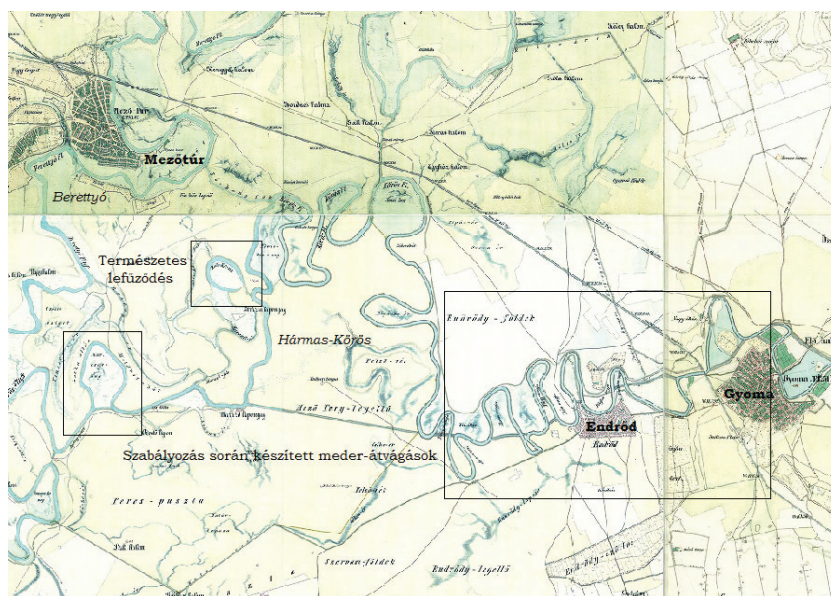


4.4. ábra. A Fehér-, a Fekete-, és a Kettős-Körös szabályozása Gyula és Békés között

4.2. Második Katonai Felmérés és a medervonalak digitalizálása

Az eddigi fejezetekből kiderült, hogy a módszer lényeges eleme, hogy a vizsgált folyók természetes medrére van szükség, hiszen a szabályozott folyók már nem tudják medrüket a változó lejtésviz viszonyoknak megfelelően, szabadon változtatni. Így két lehetőség marad a vizsgálandó folyókkal kapcsolatban. Vagy olyan folyókat választunk, amelyeket nem szabályoztak, vagy olyan térképeket keresünk, amelyeken még a szabályozás előtti természetes medreket lehet megtalálni. Mivel az első lehetőség eléggé leszűkítené a vizsgálható folyók halmazát, így a másodikat választottam.

Magyarország területét a Habsburg Birodalom idején többször is feltérképezték (Első, Második és Harmadik Katonai Felmérés). Ezek közül a Második Katonai Felmérés térképei felelnek meg leginkább a vizsgálatokhoz (Hofstätter, 1989; Jankó, 2001; Timár, 2004; Timár et al., 2006). Ezek a XIX. századi nagy folyószabályozások előtt, vagy azokkal nagyjából egy időben lettek felmérve. A tervezett kanyarátvágások sok helyen már be vannak rajta jelölve, sőt, néhol már a szabályozott medret jelölik folyómederként. Általában ezeken a helyeken még jól el lehet különíteni az eredeti kanyargós és a mesterségesen egyenes medreket. A szabályozott szakaszok mentén fontos még az is, hogy a meder mellett található holtágak közül kiválasszuk azokat, amelyek a szabályozás során lettek levágva, tehát a természetes medernek még a részét képezték, valamint a már korábban lefűződött kanyarokat. Szerencsére ezek az esetek többségében könnyen elkülöníthetők voltak. A természetes módon lefűződött holtágak általában távolabb voltak a medertől, valamint a lefűződés módjából következően zártabb köralakot alkottak, mint a szabályozás során átmetszett társaik. (4.5. ábra)



4.5. ábra A Hármas-Körös és holtágai Gyoma és Mezőtúr környékén. Jól elkülöníthetők a természetes (középen) és mesterséges (oldalt) holtágak.

A Második Katonai Felmérést 1806 és 1869 között végezték, de területenként eltérő időpontokban. Erdélyt 1853-58 és 1869-70, Horvátországot 1865-1869 között, míg Magyarország területét 1819 és 1869 között mérték fel, megszakításokkal. Ezen belül a magyarországi Felső-Duna, a Felvidék és Kárpátalja térségét az 1820-as évek elején, míg az ország központi részét, az Alföldet 1857-61 között mérték fel (Timár et al. 2006; Jankó, 2007; 4.6. ábra). Az elhúzódozó felmérés miatt nem teljesen egységes sem a felmérése, sem a megjelenítése, viszont ennek ellenére még ma is jól használható.

Eredetileg a Habsburg Birodalom egész területét a Bécsi Stephansdom vetületi kezdőponttal akarták felmérni, viszont elég gyorsan kiderült, hogy így a széleken nagy lesz a torzítás. Ezután tartományonként határoztak meg kezdőpontokat. Erdélynél Vízakna, Horvátországnál Ivanič lett az új kezdőpont, míg Magyarországnál megtartották a Stephansdomot (Timár et al. 2006; Jankó, 2007).

A folyók digitalizálását az Arcanum által szkennelt és georeferált térképlapokon végeztem (Timár et al., 2006). A felmérés eredeti dátuma egy Zach-Oriani hibrid ellipszoid ($a=6376130$ m, $e=1/310$), a térképek méretarány 1:28800 (Hofstätter, 1989; Varga, 2002; Timár et al., 2006). Ez a nem teljesen kerek szám a bécsi öl és a bécsi hüvelyk arányából jön (eredetileg: 1 bécsi hüvelyk : 400 bécsi öl). A georeferált térképek hivatalosan 150-200 m pontosságúak. Valójában inkább 50-100 m a pontosság, s néhol 30 m alatti (Timár et al., 2006).

A térképeket EOVS koordináta rendszerben használtam, ahol megoldható volt. Erdély és Horvátország területén nem mindenhol volt kivitelezhető így ott helyi vetületben, vagy UTM koordináták szerint digitalizáltam a medreket. Később, amikor szükséges volt, a folyómeder koordinátáit átváltottam EOVS-ba, de már csak a kanyarfejltség számolás után (főként a megjelenítés miatt volt erre szükség).

Maga a digitalizálás nagyon egyszerű, viszont annál időigényesebb folyamat volt. A térképeken ábrázolt medrek közepe mentén vettem fel egy törött-vonalat (*polyline*), összesen mintegy 7600 km-nyi folyószakasz mentén, de folyónként külön. A digitalizáló vonallal igyekeztem minél jobban követni a tényleges medret, így a kanyarokban jóval sűrűbben helyezkednek el a töréspontjai, míg az egyenesebb szakaszokon, bár nem túl sok ilyen volt, valamivel ritkábban. Mint látható, ezáltal a digitalizált meder pontjai egymástól különböző távolságokra lettek felvéve. A kanyarfejltség számításhoz azonban egyenkénti pontsorra van szükség, legalábbis az általam használt módszernél. Ezért egy át-mintavételezést kellett végrehajtani, amit az *ArcGIS* programmal tettem meg. Az eredményül kapott pontsor pontjai egymástól 50 m-re kerültek, de az eredeti törött-vonal mentén. Ezért néhol előfordulhat, hogy

2 pont között valószínűleg kevesebb, mint 50 m a légvonalbeli távolság. Azonban ezzel nem kell törődnünk, mert az egyenközü pontsornak a meder-menti távolságnál lesz szerepe.



4.6. ábra A Második Katonai Felmérés során felmért területek. A felmérések eltérő idejét az eltérő színek jelzik (Jankó, 2007).

4.3. Kanyarfejlettség-számítás

A folyók kanyarfejlettségét Schumm (1963) a meder menti távolság és a völgy menti távolság vagy a mederlejtés és a völgylejtés hányadosaként definiálja. Lényegében azt adja meg, hogy az adott meder mennyire kanyarog, mennyire meanderezik. Ez kiszámolható a teljes folyómederre, vagy szakaszaira is. Jelen munka a szakaszokra kiszámolt értékekkel foglalkozik.

Az előző alfejezet végén ismertetett át-mintavételezésre a számítások „automatizálása” miatt volt szükség, hiszen így egy *Excel* táblázat segítségével előállíthatók lettek a szükséges értékek, a kívánt ablakmérettel (ami a meder menti távolság). Az ablakméretet 5 km-től 80 km-ig növeltem, 5 km-es lépésközzel. A kapott értékek mindig az ablak felezőpontjára vonatkoznak. A számítás módjából adódóan, a folyószakasz elején és végén fél-fél ablakméretnyi hosszan nem rendelkezünk kanyarfejlettség-értékekkel.

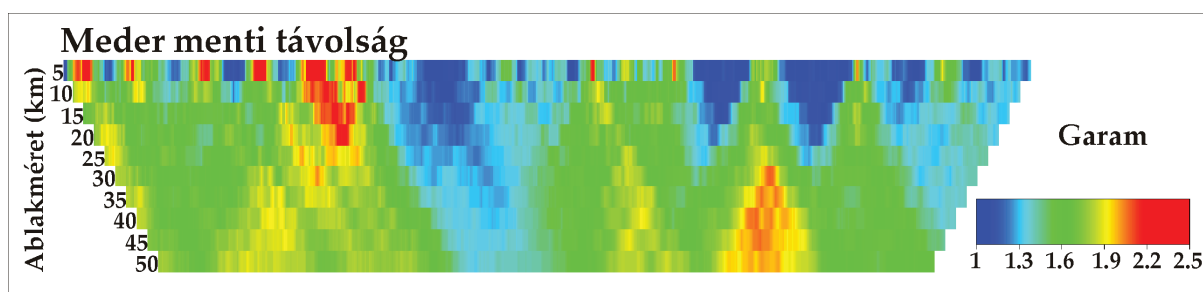
Mivel két pont között 50 m a távolság, könnyen kiszámítható, éppen melyik két pont az adott ablak két vége. Ezek koordinátaiból pedig, a Pitagorasz-tétel alkalmazásával, megkapjuk a völgy-menti távolságot (völgyhossz, légvonalbeli távolság). A medreket térképek alapján digitalizáltam, amelyek a geoidnak egy síkra való leképezésével jöttek létre, ezért a légvonal hosszának számításánál nem vettem figyelembe azt, hogy valószínűleg a két pont között egy görbült felületen mérem a távolságot.

A kiszámított kanyarfejlettség értékek több módon is ábrázolhatók. Lancaster és Bras (2002) megállapítja, hogy minden folyóra meghatározható egy jellemző ablakméret, mely a tektonikával hozható kapcsolatba. Timár (2003b) szerint a Tisza Tokaj és Szeged közötti szakaszára ez az érték 50 km. A kapott ablakmérettel számított értékeket színskála hozzárendelésével a meder mentén is ábrázolhatjuk. (ld. 5. fejezet és a *Melléklet* ábrái). A 4.1. táblázatban azt mutatom be, melyik folyónál milyen ablakméretet használtam.

Ablakméret	Folyó
10 km	Feketeügy
25 km	Vág-Duna, Mosoni-Duna, Garam, Ipoly, Baracsakai-Duna, Ondava, Laborc, Ung, Latorca, Sajó, Kis-Szamos, Nyitra, Fekete-Körös, Fehér-Körös, Sebes-Körös, Berettyó,
35 km	Vág, Bodrog, Tisza felső szakasza, Hernád, Kraszna, Szamos, Maros, Olt, Hármas-Körös
50 km	Duna, Tisza, Dráva, Száva

4.1. táblázat. A Lancaster és Bras (2002) alapján alkalmazott ablakméretek

Ha az összes ablakmérettel számolt értéket egyszerre szeretnénk ábrázolni, ennek a leglátványosabb módja a kanyarfejlettség spektrum (van Balen et al; 2008). A 4.7. ábra egy példa spektrumot mutat be (Garam). A vízszintes tengelyen látható a meder menti távolság, míg függőlegesen a különböző ablakméretek találjuk meg. A kanyarfejlettség-értékek hozzárendelése egy színskála alapján történik. A maximális kanyarfejlettség az egyes folyók között különbözött, így folyónként eltérő színskálát használtam, hogy a kisebb kanyarfejlettségű folyók változásai is láthatók legyenek. Az 5.2. ábrán azonban egységes skálán is bemutatom az eredményeket. A lehetőségekhez képest igyekeztem olyan színskálát választani, hogy a kisebb változások is látszódnak, de az eredmény nem lett tökéletes. A nagyon kicsi és nagyon nagy kanyarfejlettségek változásai nem elég látványosak.



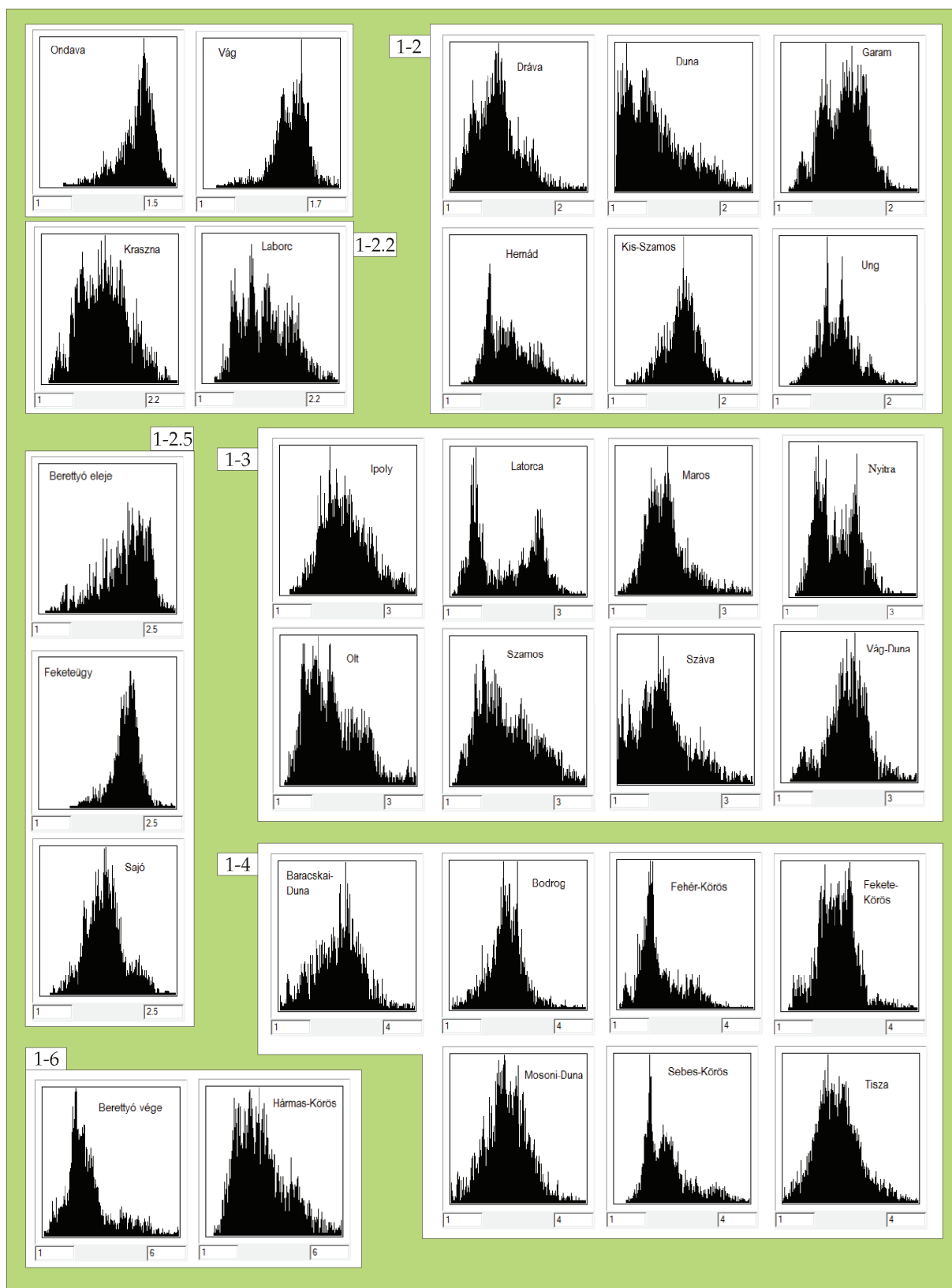
4.7. ábra Kanyarfejlettség spektrum a Garamra

4.4. Isoclass osztályozás

Annak érdekében, hogy a kapott eredményeink ne függjenek a vízhozamtól, egy *ISOCLASS* osztályozást (Duda és Hart, 1973) is elvégeztem a kapott kanyarfejlettség értékeken (Petrovszki et al., 2012). Ezen túlmenően azt is várjuk még ettől a módszertől, hogy kiküszöbölhető vele a feldolgozó személy szubjektivitása. Eddig, kanyarfejlettség elemzéskor, ha a spektrumot néztem, színezés alapján besoroltam kis, közepesen kicsi, közepes, közepesen nagy és nagy kanyarfejlettségű szakaszokba. Majd ugyanezeket a színeket használva, a *Surfer* programban „Classed Postmap”-ként, a meder mentén egy ablakméret értékeit ábrázolva 5 tartományt állítottam be. De még ekkor is megmaradt a szubjektivitás, mert folyónként változott a maximum és minimum kanyarfejlettség (a minimum 1 körül volt, a maximum 1,5 és 20 között változott). Az azonos színnel ábrázolt intervallumok határait minden folyónál külön állítottam be (*User defined*), egyik esetben sem választva az egyenlő intervallum (*Equal intervall*) és egyenlő darabszám (*Equal numbers*) opciókat. Egyik esetben a *közepes-nagy* csoportokba alig kerültek volna pontok, míg a másikinál a „nagy” kanyarfejlettségűben is ugyanannyi pont lett volna, mint a „kis értékek” tartományában. Ha kissé általánosítunk, megállapíthatjuk, hogy nagy értékekből kevesebb van, mint a kicsikből. Ezt nem csak általánosságban akartam kijelenteni, ezért megvizsgáltam a kanyarfejlettségek hisztogramját (4.8. ábra). A hisztogramok azért is hasznosak, mert nemcsak az értékek eloszlását láthatjuk, hanem a maximum változását is. Az ábrán nem abécérendben, és nem területenként vannak csoportosítva a folyók, hanem az ábrázolt kanyarfejlettség tartományok szerint. A 4.8. ábrán látható, hogy a Pannon-medencében általam vizsgált meanderező folyók esetében a folyók várható kanyarfejlettsége nem a Stølum (1996) által leírt értéket közelíti (ld. 2. és 3. fejezet).

Mivel eddig 5 színt használtam a meder menti kanyar-fejlettség értékek ábrázolására, a folyók pontjait is 5 osztályba osztattam, remélve, hogy a kapott osztályok valamennyire összefüggésben lesznek az eredeti kanyarfejlettségekkel, tehát a nagyobb értékeke nagyobb osztályokba kerülnek. Néhol tényleg így történt, bár nem csak ezt vette figyelembe a program.

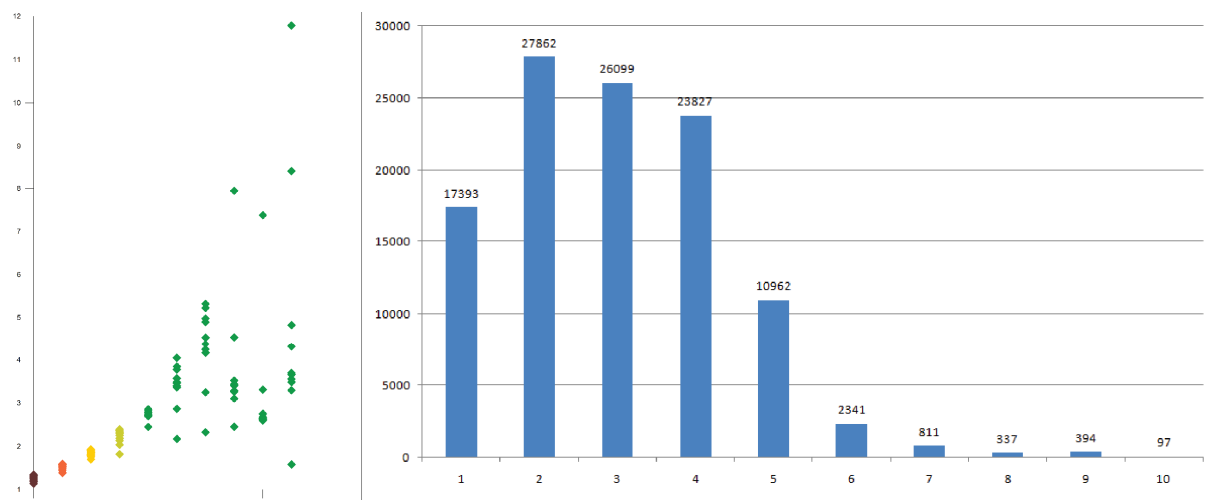
Amikor a kanyarfejlettség–spektrumot ábrázoltam, az értékek beolvasása úgy történt, mintha egy egycsatornás kép lenne, rácsháló mentén tartalmazva az értékeket, annyi sorral, ahány ablakméretet ábrázoltam (általában 10). Az *ISOCLASS* osztályozáshoz több-csatornás képként olvastattam be az értékeket. A különböző ablakméretek voltak a csatornák, és mindegyik csatornán csak egy egy-soros kép lett importálva. Az osztályozást az 5-50 km-es ablakmérettel számolt kanyarfejlettség értékeken végeztem el, tehát egy 10-csatornás képen.



4.8. ábra. A folyók kanyarfejltség-értékeinek hisztogramjai (5-50 km-es ablakméretekkel). Az ábrán a hisztogramok minimuma minden esetben egy, akkor is, ha az adott folyó mentén a legkisebb kanyarfejltség ennél egy-két tizeddel nagyobb volt (pl. Feketeügy: 1,3). A maximumok lehetőség szerint egész számok, de minden esetben kisebbek, mint a folyók maximális kanyarfejltsége. A már nem ábrázolt nagyobb kanyarfejltség értékekből kevés volt, kevesebb, mint a folyó pontjainak 1,5%-a. Ennek ellenére, akár az itt ábrázolt maximumok háromszorosát is elérhették (pl. Hármas-Körös: 22; Maros, Szamos: 11; Száva: 9).

Az *ER Mapperben* található, „*ISOCLASS Unsupervised Classification*” néven futó osztályozást végeztem el. A kanyarfejltség-számítás módszeréből következően, a vizsgált folyószakasz első és utolsó 25 km-es szakaszán nem volt mind a 10 csatornán érték, így ezeken a szakaszokon nem történt osztályozás. A többi pont 5 osztályba sorolásával objektívvá vált a folyók elemzése. Kezdetben ugyanazokat a színeket használva ábrázoltam az osztályokat, mint korábban a kanyarfejltségeket. De mivel a kettő közötti kapcsolat nem lineáris, és emellett néha zavaró is volt, új színeket vezettem be.

Kipróbáltam, hogy az összes folyóra egyszerre végzem el az osztályozást. Ennek sajnos az a hátránya, hogy a kiugróan nagy kanyarfejltségek kerültek a 4-5 osztályokba, míg a kisebb értékek változásai nem látszódnak. Sokkal jobb eredményt kaptam, ha 10 osztályba rendeztettem a pontokat, majd pedig az 5-10 osztályokat egynek vettem. Még az összevonás után is jóval kevesebb pontot tartalmazott ez az osztály, mint bármelyik másik a többi 4-ből (4.9. ábra). Az első négy osztályba az 1 és 3 közötti kanyarfejltséggel rendelkező pontok kerültek (95181 db), míg a nagy értékek az 5-10 osztályba lettek besorolva (14942 pont, kevesebb, mint az összes pont hetede).

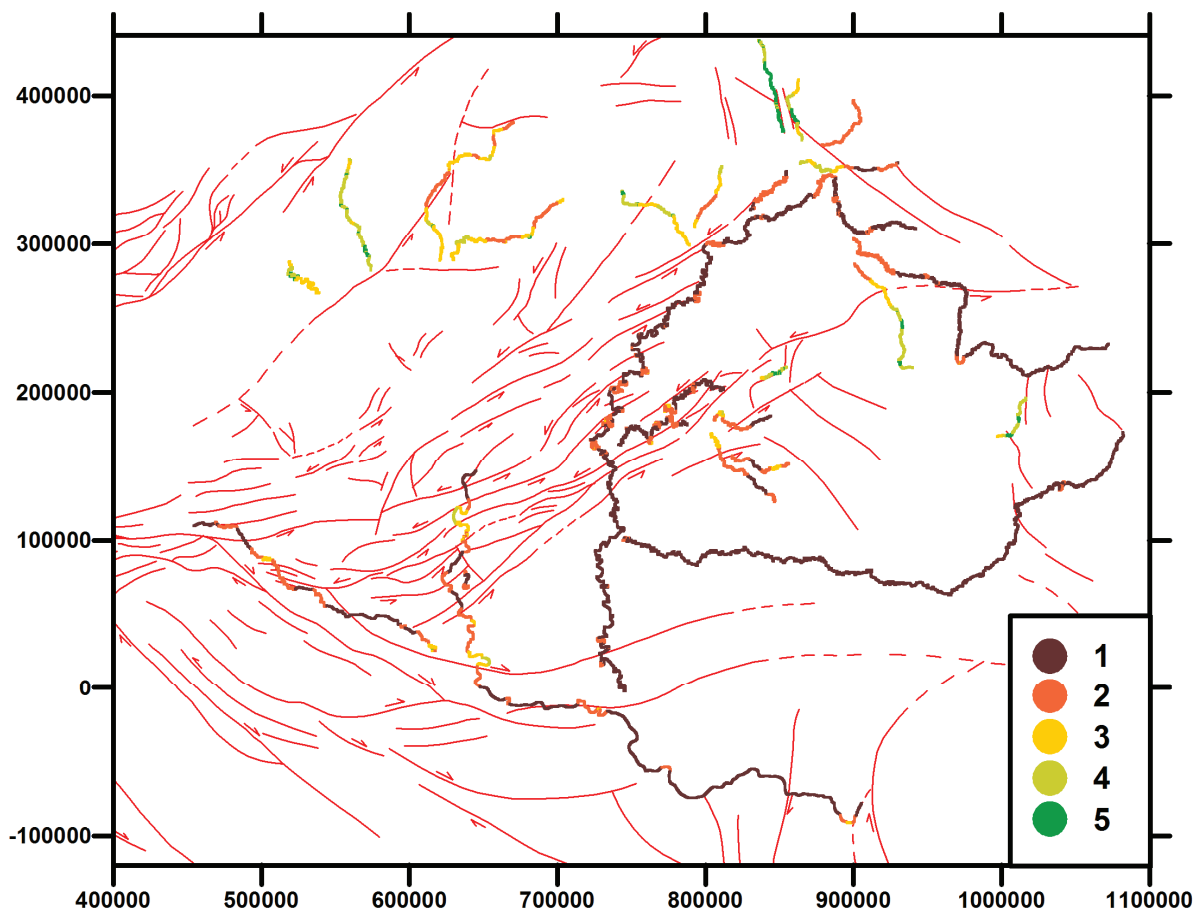


4.9. ábra. Az összes vizsgált folyószakaszra egyszerre elvégzett osztályozás statisztikus eredményei.

Az egyszerre osztályozás másik lehetősége a normálás. Minden folyóra kiszámítottam egy normált kanyarfejltséget, ahol minden érték 1 és 2 közé került, majd ezeket osztályoztam. Ebben az esetben a 20-as kanyarfejltség nem nyomta el a 3-asat, bár ennek sem volt olyan látványos az eredménye, mint amikor folyónként osztályoztam.

Az eredeti módszer ugyanis arról szólna, hogy a folyó mentén hogyan változik a kanyargás. Az, hogy egy adott szakaszon a kanyarfejltség 2, nem sokat árul el a folyóról,

minden attól függ, máshol milyen értékek fordulnak elő. Ha a folyó legtöbb szakaszán 1-1,3 közötti értékek vannak (pl. Ondava), akkor ott a 2-es kanyarfejlettség nagynak fog számítani. Másik folyónál (pl. Sajó), ahol 1-3 között változik, ott közepes, míg a Tisza esetében, ahol 20-as kanyarfejlettség-érték is előfordul, ott ugyanaz a 2-es kanyarfejlettség kicsinek fog számítani. Ha megvizsgáljuk az osztályozás statisztikus grafikonjait, láthatjuk, hogy a módszer nemcsak a kanyarfejlettség nagyságát veszi figyelembe, hanem azt is, hogy a különböző ablakméretekkel számolt értékek mennyire térnek el egymástól. Emiatt az osztályozást elvégeztem a normált kanyarfejlettség értékekre is (4.10. ábra).



4.10. ábra. Normált kanyarfejlettségekre, az összes folyóra egyszerre kiszámolt ISOCLASS osztályok. Ez sem teljesen a várt eredményt adta. A kisebb kanyarfejlettségű folyók 4-es és 5-ös osztályba kerültek (pl. Ondava), míg a jelentős, eredetileg nagy kanyarfejlettség-változások csak kettes vagy hármas osztályba (pl. Körösök). Bár eredetileg nem vártuk, hogy az osztályok és kanyarfejlettségek között egyenes arányosság legyen, jelen esetben a nagyobb normált értékek nagyobb osztályba kerültek (de ez továbbra sem jelent nagyobb kanyarfejlettséget). Azonban a vetők mentén így is megfigyelhető az osztályváltás.

4.5. A folyamat tényleges lépései és statisztikai háttére

- ❖ Az Arcanum rendszerben lévő térképlapokat exportáltam *ECW (Enhanced Compression Wavelet)* formátumba, EOVS koordináta rendszerbe.
- ❖ A térképlapok felbontását 2,5-5 m/pixelnek állítottam be. Az így létrehozott fájlok egy-egy téglalap alakú területet ábrázoltak. Egy adott folyó medrét több kisebb területet lefedő téglalapból raktam össze, mozaikszerűen, ugyanis ha egy téglalapba szerettem volna belevenni, 5 m-es felbontással, akkor a létrejövő fájl kezelhetetlenül nagyméretű lett volna.
- ❖ Az *ER Mapper* szoftverrel olvastam be a térképeket, a koordinátaik alapján egymás mellé illesztve.
- ❖ Digitalizálás során a beolvasott térképeken létrehoztam egy *vektor* réteget, és egy *polyline*-t (törött vonalat) rajzoltam a meder mentén, a lehető legjobban követve a meder kanyargásait. Ehhez annyira nagyítottam bele a térképbe, hogy a medret a képernyőn minimum 5-8 mm szélesnek lássam. A forrásvidékhez közeledve a meder egyre keskenyedett, így a felbontás egyre rosszabb lett, ahogy próbáltam tartani a képernyőn a meder állandó szélességét, viszont így lehetett a legjobban eltalálni a meder közepét.
- ❖ Minden folyót külön digitalizáltam, külön fájlba mentettem.
- ❖ Probléma ott adódott, ahol a folyómeder több területen folyt keresztül, tehát több rendszerben lett felmérve. A horvátországi részeket, és Erdély bizonyos folyóit nem lehetett EOVS-ba exportálni, így azokat UTM-be mentettem. Digitalizáltam a medret az egyik területen, az egyik rendszerben, majd új ablakban megnyitottam a folyó másik részét ábrázoló térképeket, a másik koordináta-rendszerben. Erre nyitottam meg az első rendszerben digitalizált szakaszt. Az *ER Mapper* a különböző vetületű raszteres adatokat nem tudja egyszerre ábrázolni, de ha egy adott raszteres adatra ráhívok egy másik koordinátarendszerű vektor fájlt, akkor azt át tudja váltani, és meg tudja jeleníteni.

- ❖ Miután digitalizáltam a másik vetületi rendszerű folyószakaszt is, a medret a második rendszer koordinátái alapján mentettem el. Erre konkrét példa a Maros, melynek forrásvidékén UTM koordinátájú térképlapok vannak, a magyarországi szakaszán a vetület EOVS. Az UTM-ben digitalizált szakaszt megnyitottam az EOVS szelvényekre, és tudtam folytatni a digitalizálást EOVS koordináták szerint, míg végül a teljes meder EOVS rendszerben lett elmentve. A két rendszer határán, ahol mindkét rendszerben felmérték az adott folyószakaszt, előfordulhattak kisebb eltérések, de ez általában nem volt túl számottevő.
- ❖ A kész folyómedreket ezután *shape file*-ként mentettem el, hogy meg tudjam nyitni az *ArcGIS* programmal.
- ❖ Az *ER Mapper* nem generál automatikusan *projection file*-t is ilyen mentésekkor, tehát mielőtt még az *ArcGIS*-ben megnyitottam volna, ezt minden folyóhoz létre kellett hozni. Ez a fájl tartalmazza, hogy milyen vetületben van az adat.
- ❖ Következő lépésként megnyitottam a folyómeder koordinátáit tartalmazó fájlt, és elkezdhettem szerkeszteni. A *Divide* paranccsal a törött-vonalból létrehoztam egy pontsort, aminél az egymást követő pontok egymástól 50 m-re kerültek. (*Equal distance: 50 m*). Fontos megemlíteni, hogy az eredeti, digitalizált vonal mentén kell érteni az 50 m-es távolságot. A kapott pontsort ezután szöveges dokumentumként mentettem el (*txt*).
- ❖ Ezt a fájlt már meg lehet nyitni *Excelben* is. Két oszlopot tartalmaz: az átmintavételezett pontsor pontjainak koordinátáit.
- ❖ A kanyarfejltség kiszámítása innentől félig már automatikusan megy, Schumm (1963) képlete alapján. Az ablakméret (meder menti távolság) első esetben 5 km. Ez azt jelenti, hogy az első pont, amelyhez kiszámolható a kanyarfejltség, 2,5 km-re lesz a meder végétől, tehát az *51. pont*. Ehhez a ponthoz, a C oszlopba beírtam a kanyarfejltség kiszámításának képletét: a meder menti távolságot (5 km) kell elosztani a Pitagorasz tétel alapján kiszámolt, 1. és 101. pont közötti légvonalbeli távolsággal. Ezután a beírt képletet átörökítettem az alatta lévő cellákba. Az utolsó 50 cellából a végén ki kell

törölni az értékeket, mert azok nem reálisak (nem tartozik hozzájuk koordináta, így eredményül egynél kisebb számok keletkeznek, emiatt elég egyszerűen észre lehet venni, hol kezdődik ez a rész).

- ❖ A D oszlopba kerülnek a 10 km-es ablakkal számolt értékek, a 101. sortól kezdve (1-201. pontra számolva). Ezt a módszert tovább alkalmazva 5 km-ként növeltem az ablakméreteket, amíg el nem értem 80 km-ig (4. ábra).
- ❖ A spektrumoknál, és később az osztályozásnál, azonban csak az 5-50 km-es értékeket vizsgáltam, mert a legtöbb folyó nem volt elég hosszú ahhoz, hogy a 80 km-es ablakmérettel még érdemi változásokat ki lehessen mutatni, illetve hogy megfelelő hosszúságú, elemezhető osztályozott szakasza maradjon.
- ❖ A számítások elvégzése után a kapott értékeket (koordináták nélkül) átmásoltam egy új fájlba, és tabulátorral tagolt szöveggént mentettem el. A meder két végén lévő pontoknak, ahova nem lehetett kanyarfejltséget számolni, nulla értéket adtam.
- ❖ A spektrum megjelenítéséhez ismét az *ER Mapper* programot használtam. A fájlt egycsatornás képként olvastattam be, az értékeket úgy értelmezve, mintha egy rácsháló pontjainak értékei lennének, ami párezer pont hosszú és 10 pont széles (4. ábra).
- ❖ Az értékek megjelenítésére egy színskálát használtam, bár program hiába rendeltem színeket az adott értékekhez, a nagyon keskeny sávon nem lehetett látni. Az *ers* fájlba pár sor kiegészítést beleírva megváltoztattam a pixelek méretét, így láthatóvá vált az eredmény.
- ❖ A szükséges kiegészítés:

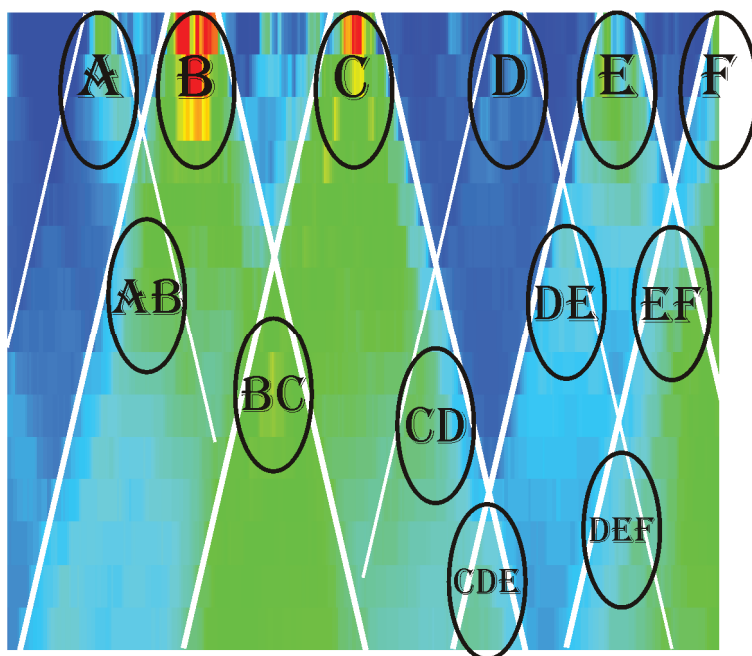
CellInfo Begin

Xdimension = 100

Ydimension = 1

CellInfo End

- ❖ A kép szélességét százszorosára növeltem, így láthatóvá vált az értékek változása is. Ezután már csak a program által automatikusan alkalmazott simítást kellett kikapcsolni, és kiválasztani a megfelelő színskálát.
- ❖ A kész spektrumokon nyomon lehet követni az adott kanyarok hatását is: ahol kis ablakméretnél megjelenik egy nagy kanyarfejltség, tehát van egy nagyobb kanyar, annak hatása nagyobb ablakméretekkel számolva elkenődik. Ha több ilyen kanyar van egymáshoz közel, akkor nagyobb ablakméreteknel, amelyekbe minimum kettő kanyar is beleesik, összeadódott hatásuk jelenik meg, és ismét megnő a kanyarfejltség. (4.11. ábra)

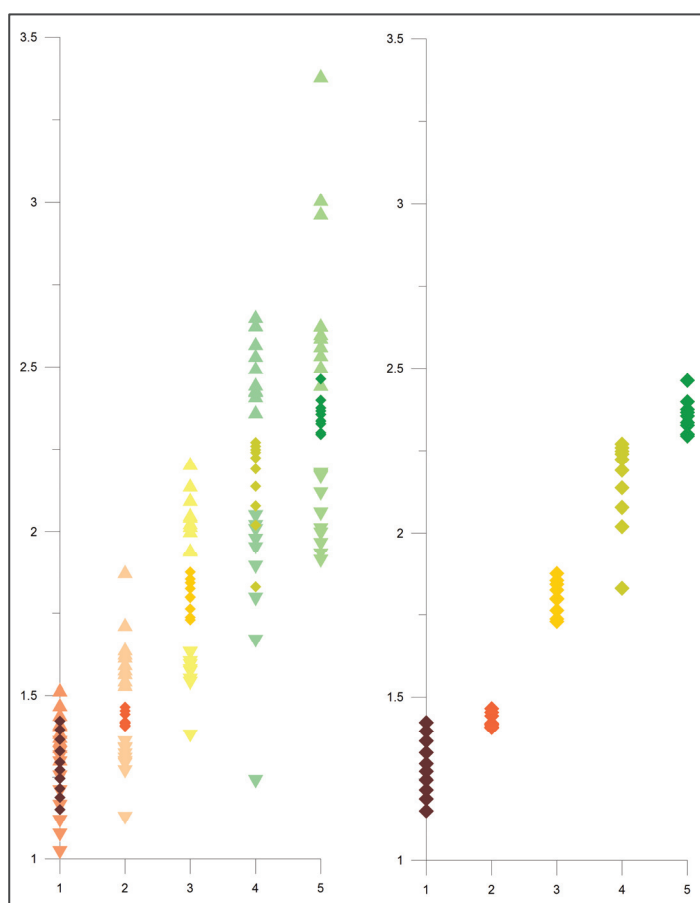


4.11. ábra. A kanyarok hatása a kanyarfejltség-spektrumon. Kis ablakméreteknel megjelöltem 6 kanyart A–F betűkkel. A spektrum nagyobb ablakméretekkel számolt részein a betűk arra utalnak, hogy az eredeti kanyarok közül melyiknek a hatása érvényesül az adott kanyarfejltség növekedésben.

- ❖ A jelentős kanyarfejltség-változások megtalálására nagyon hasznos ez az ábrázolási mód. Ugyanakkor sok függ az elemző személytől is, valamint a színskála beosztásától. Előfordulhat, hogy egy adott változást nem mindenki ítél kellően szignifikánsnak ahhoz, hogy az okait vizsgálja.
- ❖ Küszöbértékeket sem lehet megadni a kis-, közepes- és nagy kanyarfejltség tartományokhoz, mert minden attól függ, hogy a folyó többi szakaszán mekkora értékek fordulnak elő (ld. 3. fejezet és 4.8. ábra).

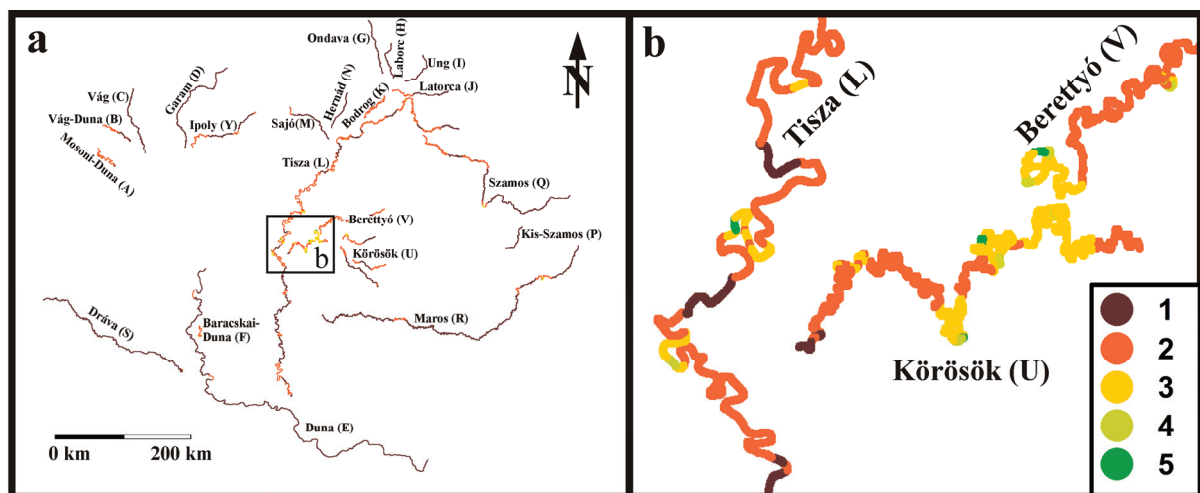
- ❖ A szubjektív károsítás kiküszöbölésére végeztem el az osztályozást. Ehhez ismét a kanyarfejltség értékeket tartalmazó szöveg fájlra volt szükség, azonban az eddigiektől eltérően most többcsatornás (*multichannel*) képként értelmeztem az értékeket (4. ábra).
- ❖ Az egyes csatornák a különböző ablakméretekkel számolt kanyarfejltség értékeket tartalmazták. Az osztályozást az összes csatornára, tehát mind a 10 ablakmérethez egyszerre végeztem el (lehetett volna csak néhány csatornára is), folyónként külön.
- ❖ Az *ISOCLASS Unsupervised Classification*, azaz nem-irányított osztályozással dolgoztam. A paraméterek megadásakor be kell állítani, hogy első lépésben hány darab osztályt hozzon létre. Az osztályozás iterációs eljárással történt.
- ❖ Ideális esetben 5 kiindulási osztályból az iteráció végére 5 osztály keletkezett (4. ábra), legtöbbször azonban a kiinduló osztályok számát többször is változtatni kellett.
- ❖ A kapott osztályok szintén ábrázolhatók *ER Mapperrel* (a pixelek X irányú kiterjedését ugyanúgy növelni kell, mint a spektrumnál), valamint szöveggént is elmenthetők.
- ❖ A folyó pontjaihoz tartozó kanyarfejltségeket és a kapott osztályokat egy táblázatba összesítettem, majd *Grapher*-ral ábrázoltam. A különböző osztályok kanyarfejltségeit, osztályonként különböző színekkel. Ehhez létrehoztam egy új oszlopot, a meder menti távolságot. Az adatokat ezután osztályonként külön munkalapra mentettem (5 osztály, 5 munkalap). A 6. munkalapra létrehoztam egy statisztikát arról, hogy melyik osztályba hány pont került.
- ❖ A *Grapher*-ral ezután beolvastam egymás után a munkalapokat. A grafikon vízszintes tengelyén a meder menti távolság, a függőlegesen a kanyarfejltség volt ábrázolva. A különböző osztályokat más-más színnel jelenítettem meg.
- ❖ Ezzel az ábrázolással megfigyelhető az azonos osztályba került kanyarfejltség-értékek közötti hasonlóság.

- ❖ Statisztikát azonban nemcsak arról készíthetünk, hány pont került egy adott osztályba. Sokkal informatívabb, ha a kanyarfejltség értékek, osztályok és ablakméretek közötti kapcsolatot vizsgáljuk. A *Mellékletben* bemutatott ábráknál a kanyarfejltség értékek melletti 2 grafikonon ezeket ábrázoltam. A jobboldali grafikonon bemutatom, hogy ablakméretenként számolva, milyen kanyarfejltségű pontok milyen osztályba kerültek. A baloldali grafikonon viszont az látható, hogy egy adott osztályba a különböző ablakméretekkel milyen kanyarfejltségű pontok kerültek.
- ❖ Ezeknél a grafikonoknál az ablakméretenkénti átlag kanyarfejltség-érték szerepel. Az osztályozás során elkészült statisztika azonban tartalmazza még a minimum, maximum, és medián kanyarfejltség-értékeket is, minden osztályra, ablakméretenként. Ha csak a kanyarfejltségek tendenciájára vagyunk kíváncsiak, bőven elegendő, ha az átlag értékeket figyeljük meg (4.12. ábra).



4.12. ábra. A Latorca pontjainak megoszlása a különböző osztályokban (vízszintes tengely), a kanyarfejltség-értékek (függőleges tengely) alapján. A halvány háromszögek az adott osztály ablakméretenkénti minimum és maximum értékeit jelölik, a sötétebb rombuszok, az átlagos értékeket mutatják.

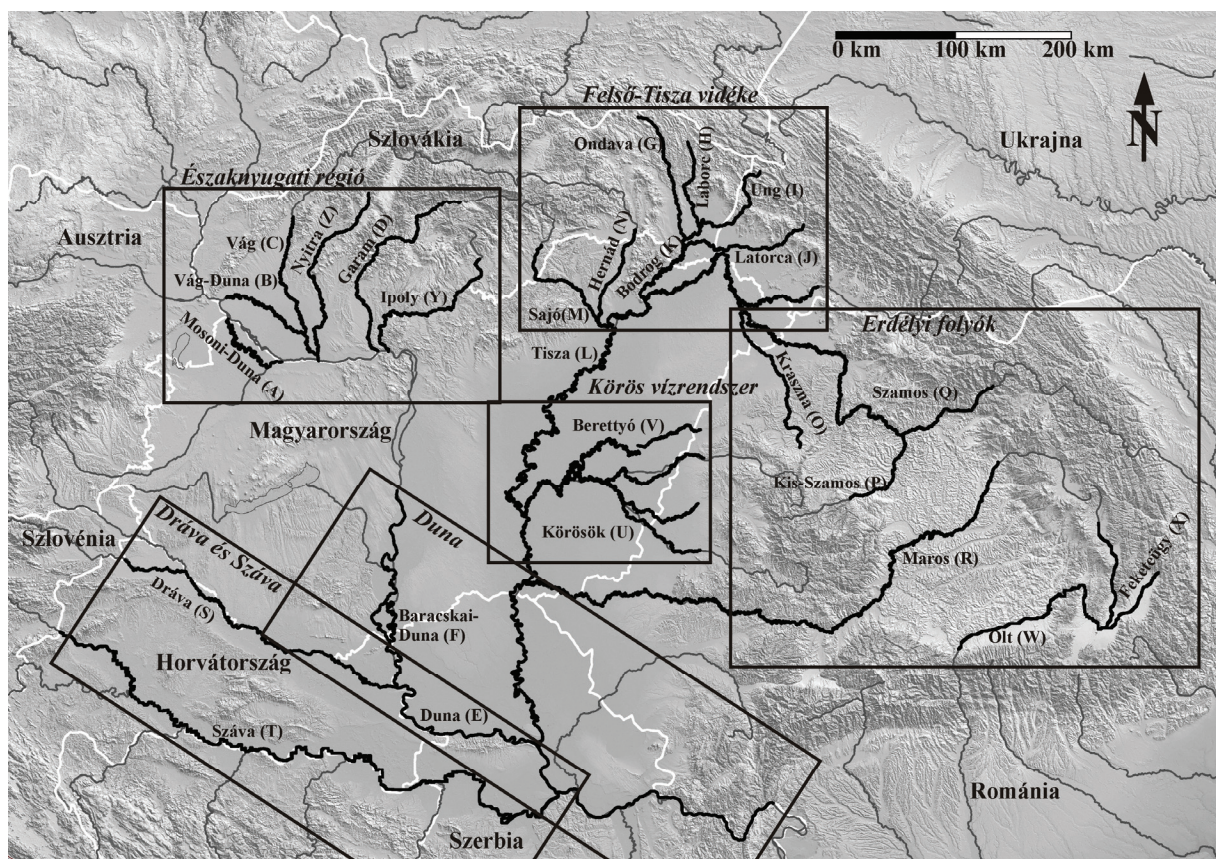
- ❖ Az eddig ismertetett módszereket folyónként külön hajtottam végre, azonban az osztályozást elvégeztem az összes folyóra egyszerre is (Petrovszki et al., 2012). A folyókoordinátákat és kanyarfejlettségeket egy fájlba rendeztem (az egyszerűség kedvéért már rögtön az első és utolsó 25 km-es szakaszok kivételével), majd elvégeztem az osztályozást a fent leírt módon, és 5 osztályt hoztam létre.
- ❖ Az eredményeken az látszott, amit előre sejteni lehetett. A kiugróan nagy kanyarfejlettségek kerültek a 4-es és 5-ös osztályokba, a kisebb változások pedig kevésbé látványosan jelentek meg (4.13. ábra).
- ❖ Hogy kiküszöböljem ezt a jelenséget, de mégis az összes folyóra egyszerre osztályozzak, 10 osztályt hoztam létre, majd az 5-10-es osztályokat egynek vettem. Ezek az osztályok tartalmazták a nagyon nagy kanyarfejlettségeket, a többi 4 osztályban pedig a „kisebb” változások is láthatóvá váltak (4.9. ábra).



4.13. ábra. Az egyszerre elvégzett osztályozás eredménye. A 4-es és 5-ös osztályokba a kiugróan nagy kanyarfejlettségű pontok kerültek. Ezek a Tisza, Berettyó és Hármas-Körös mentén találhatók (b)

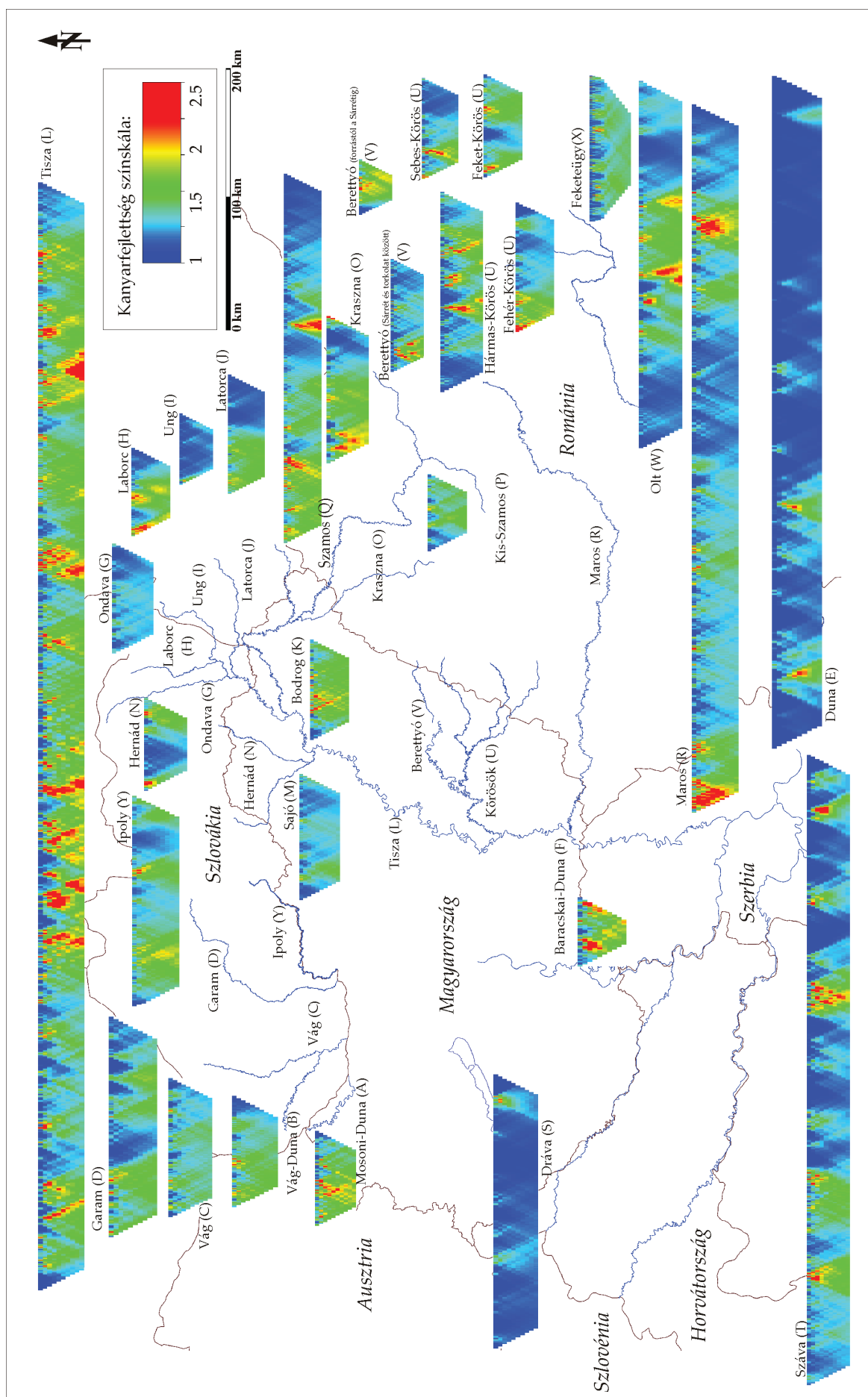
5. Eredmények: a Pannon-medence folyóinak részletes áttekintése

A Pannon-medencében digitalizált 29 folyót elhelyezkedésük alapján 6 csoportba osztottam (5.1. ábra). Az északnyugati folyók közé tartozik a *Vág*, *Vág-Duna*, *Mosoni-Duna*, *Garam*, *Ipoly*, *Nyitra*. Két folyót tartalmazó csoportot képez a *Duna* a *Baracscai-Dunával*, valamint a *Dráva* és a *Száva*, amelyek nagyrészt Horvátország és az országhatár területén folynak. A Felső-Tisza vidékhez tartoznak az észak-keleti folyók, a *Tisza* felső szakasza, a *Sajó* és a *Hernád* valamint a *Bodrog* és mellékfolyói (*Ondava*, *Laborc*, *Ung*, *Latorca*). Az erdélyi folyók alkotják az ötödik csoportot (*Kraszna*, *Szamos*, *Kis-Szamos*, *Maros*, *Olt* és *Feketeügy*), míg a hatodik csoportba a *Körös vízrendszer* került a *Berettyóval*.



5.1. ábra. A vizsgált folyókat az elemzéshez 6 régióra osztottam:

Északnyugati régió, Duna, Dráva és Száva, Felső-Tisza vidéke, Erdélyi folyók, Körös-vízrendszer.



5.2. ábra. Kanyarfejltség-spektrumok a Pannon-medence folyóira

Ebben a fejezetben először bemutatom az összes vizsgált folyóra a kiszámolt kanyarfejltség spektrumokat (5.2. ábra), majd területenkénti bontásban ábrázolom a kanyarfejltség és isoclass értékeket a medrek mentén (*északnyugati folyók*: 5.4. és 5.5. ábra; *Duna*: 5.7. és 5.8. ábra; *Dráva és Száva*: 5.10. és 5.11. ábra; *Felső-Tisza vidéke*: 5.14. és 5.15. ábra; *erdélyi folyók*: 5.17. és 5.18. ábra; *Körös-vidék*: 5.20. és 5.21. ábra).

Minden folyóra létrehoztam egy összefoglaló grafikont is, amelyeket a *Mellékletben* mutatok be. Ezeken szerepel:

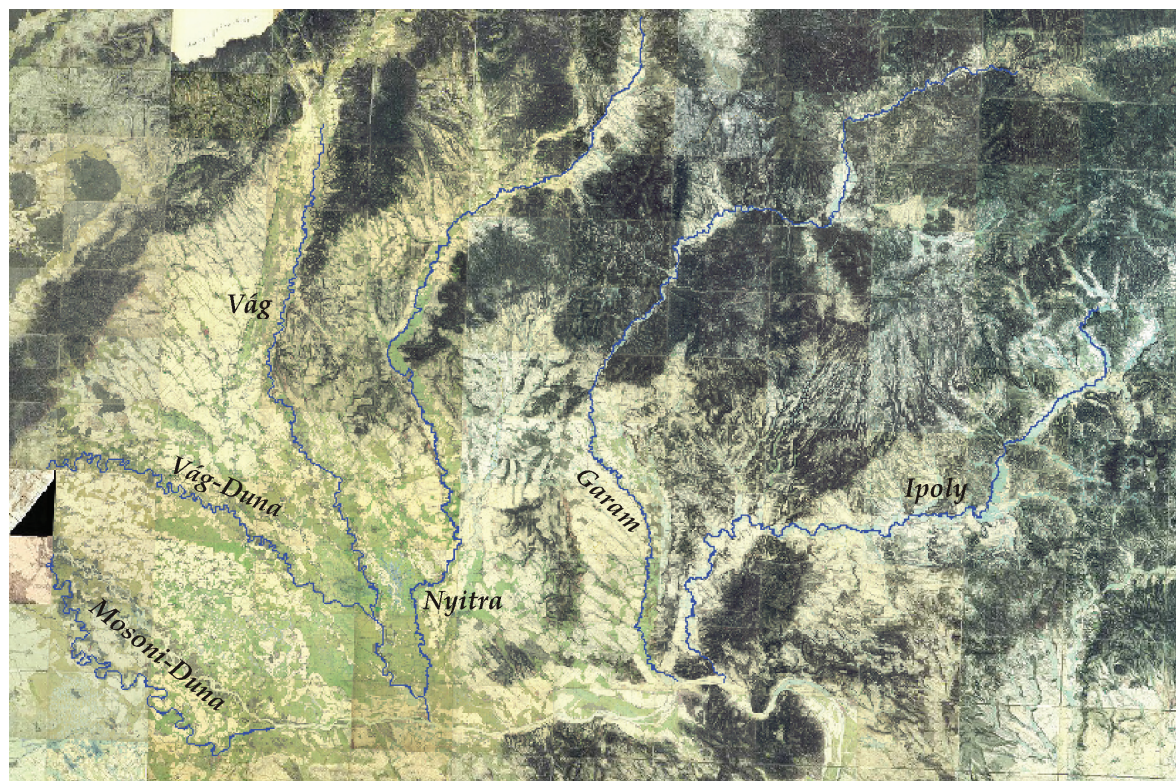
- kanyarfejltség változása a meder mentén („jellemző” ablakméret: 4.1. táblázat)
- ISOCLASS osztályok változása a meder mentén,
- kanyarfejltség spektrum,
- a kanyarfejltség és az osztályok kapcsolata – meder mentén és statisztikusan.

5.1. Északnyugati folyók

A *Vág* a Duna bal oldali mellékfolyója. A Magas- és az Alacsony-Tátrából eredő Fehér- és Fekete-Vág folyók összefolyásával jön létre. Gutánál egyesül a Kis-Dunával (Vág-Duna), majd 25 km-rel később, Komáromnál ömlik a Dunába. Esése igen nagyak mondható. A folyónak a mezőgazdaságban, iparban és a kereskedelemben is jelentős szerepe van, ezért már régóta igyekeznek szabályozni folyását. Az első, szabályozásra vonatkozó írásos utalások a XVI. századból maradtak fenn, és a XVIII. század végéig több kisebb-nagyobb szabályozás történt. Ezek fő célja a hajózhatóvá tétel és az árvízmentesítés volt. Manapság inkább vízerőművek építése miatt folynak hasonló munkák (Pallas).

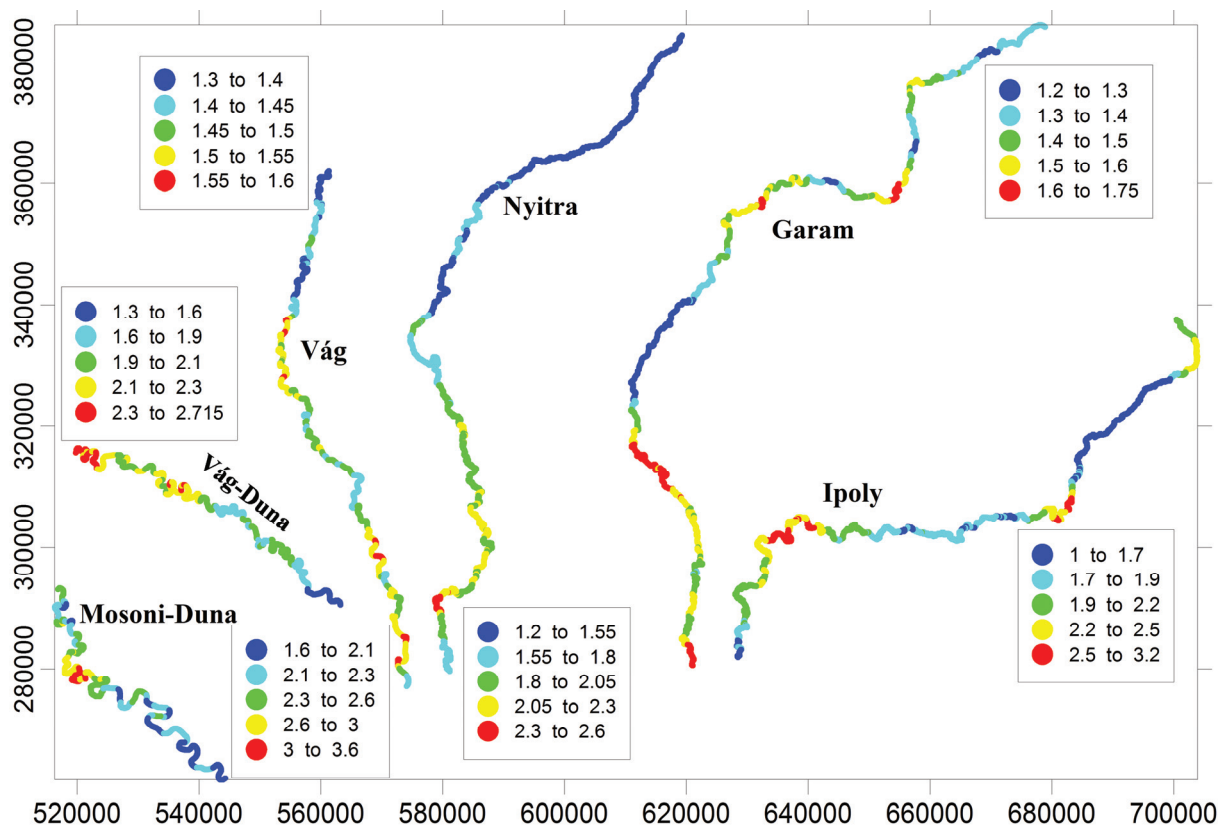
A dolgozatban *Vág-Dunaként* szereplő folyószakaszt *Kis-Duna* néven találjuk meg a térképeken, és a Csallóközt északról határoló Duna-ágot jelenti (5.3. ábra). Pozsonynál ágazik le a Dunából, majd Gutánál találkozik a Vággal, és visszatérnek a Dunába. A mai térképektől eltérő elnevezésem oka az, hogy a Duna egy másik fattyúága, a *Mosoni-Duna*, ami a Szigetközt délről határolja, a Második Katonai Felmérés térképein szintén Kis-Duna elnevezéssel található meg. Ennek medrét Rajkától Gönyüig digitalizáltam. A fonatos főághoz képest mindkét vizsgált fattyúág kevesebb hordalékot szállít, így jobban hajózható, viszont erősen meanderezik. A Mosoni-Duna például a leágazás és a visszatorkolás közti 56 km-es légvonal menti távolságot 123 km hosszú kanyargós mederrel teszi meg, tehát teljes hosszára egy kettő körüli átlagos kanyarfejltség értéket lehetne megállapítani. Széles medrét a

jelenleginél nagyobb vízmennyiség, a Duna áradásai alakították ki, még a szabályozási munkák előtt. A szabályozások és zsilipek segítségével a nagy árvizek lecsökkentek, viszont a folyó hordalékviszonyai is megváltoztak (Pallas).

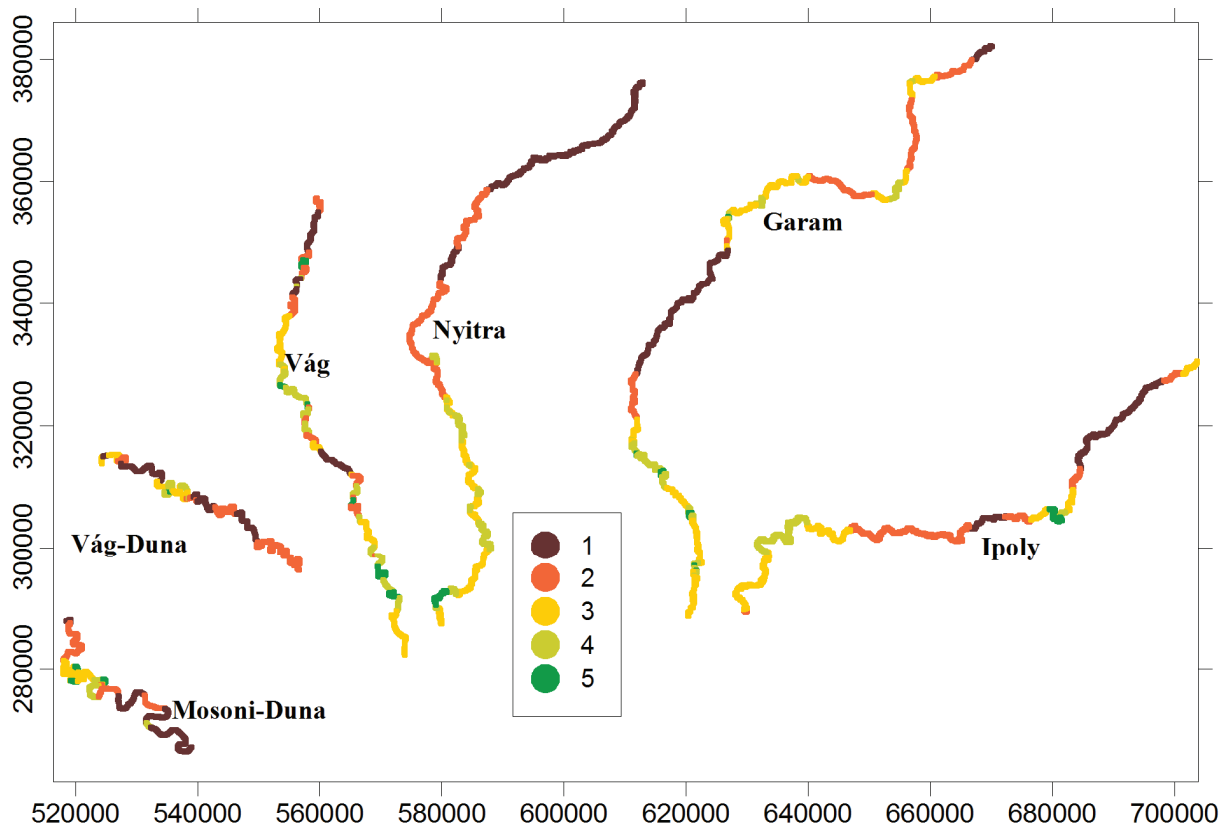


5.3. ábra. Az északnyugati folyók: Mosoni-Duna, Vág-Duna, Vág, Nyitra, Garam, Ipoly

A *Garam* szintén baloldali mellékfolyója a Dunának. Telgárttól Garam-Kövesdig 275 km-t tesz meg, s ezalatt 850 m szintkülönbséget győz le. Digitalizálás során medrét 233 km-en keresztül követtem. A kezdeti szakaszát, ahol esése nagy, vízhozama kicsi és medre szűk, már nem digitalizáltam, hiszen azon a szakaszon nem volt helye és módja szabadon meanderezni. Az *Ipoly* esetében hasonló a helyzet, szintén nem a forrásától követtem, csak 227 km-en keresztül, Berzencétől (Breznička) Szobig, ahol a Dunába torkollik.



5.4. ábra. A kanyarfejltség-értékek változása az északnyugati folyók mentén, a 4.1. táblázatban megadott ablakméretekkel, EOV koordináta rendszerben.



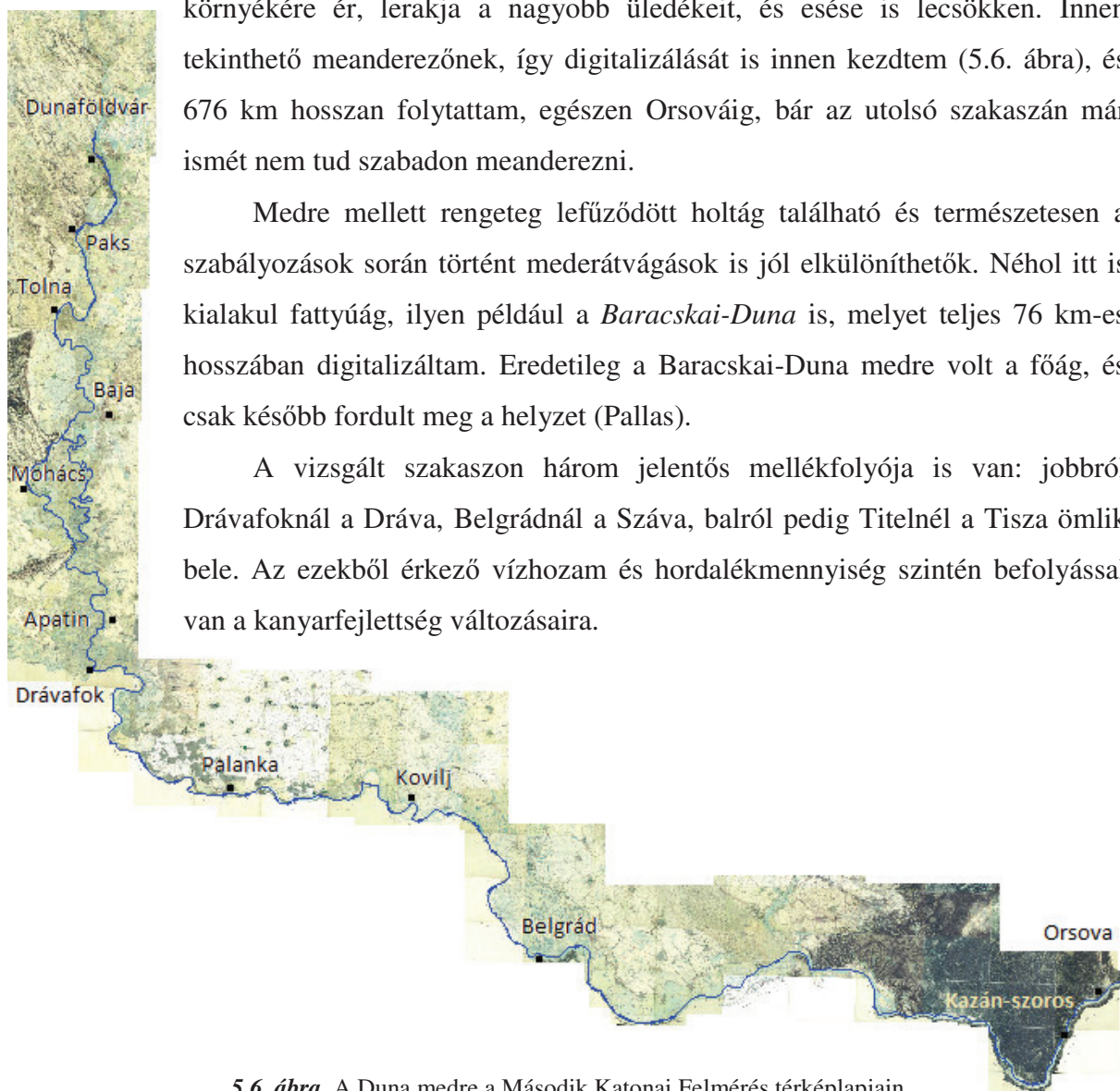
5.5. ábra. Az Isoclass osztályok változása az északnyugati folyók mentén, EOV koordináta rendszerben

5.2. Duna

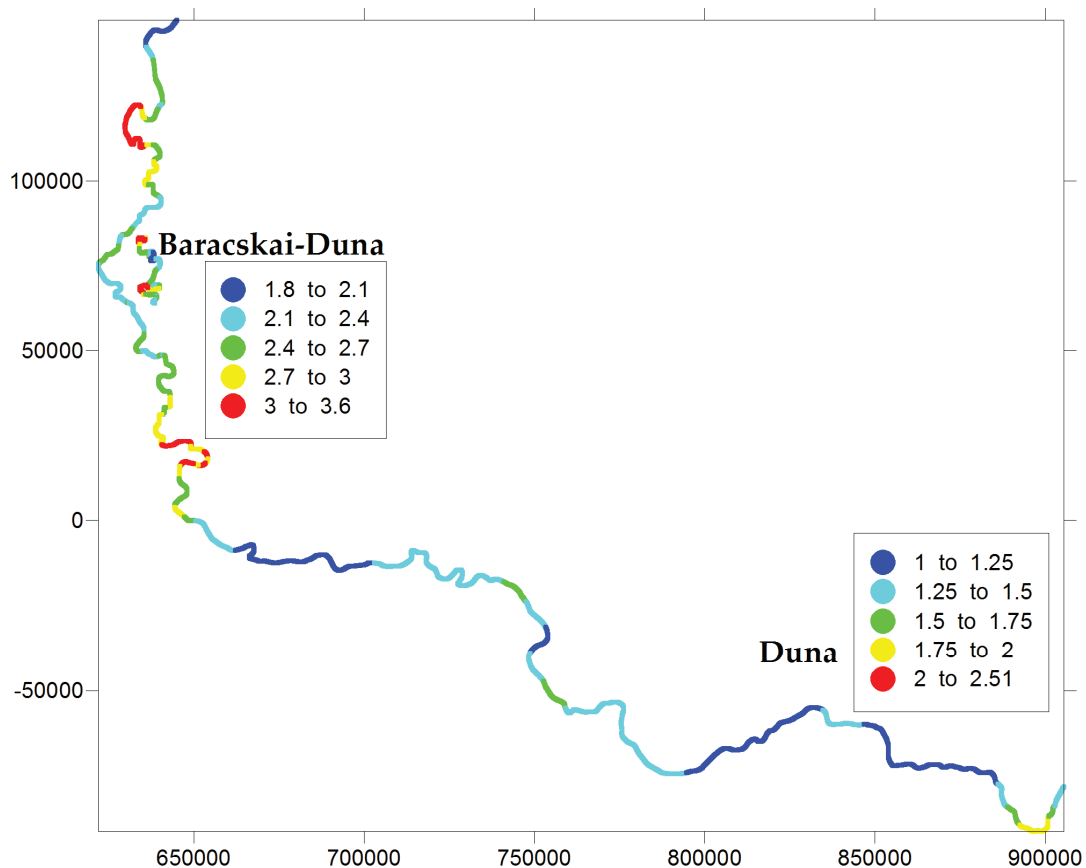
Fekete-erdei forrásától a Fekete-tengerig a *Duna* 2890 km-t tesz meg. Ezen útja során vízhozama fokozatosan nő, míg esése csökken. Alaktípusa is változó, a kezdeti, hegyvidéki szakaszain inkább bevágódik, máshol fonatos és fattyúágas alaktípussal is találkozhatunk (például Szigetköz, Csallóköz), sok helyen pedig szigeteket épít (Szentendrei-sziget, Csepel-sziget). Mindezek kialakulása a lejtéssel és a hordalékhozammal van összefüggésben. Mire Paks környékére ér, lerakja a nagyobb üledékeit, és esése is lecsökken. Innen tekinthető meanderezőnek, így digitalizálását is innen kezdtem (5.6. ábra), és 676 km hosszan folytattam, egészen Orsováig, bár az utolsó szakaszán már ismét nem tud szabadon meanderezni.

Medre mellett rengeteg lefűződött holtág található és természetesen a szabályozások során történt mederátvágások is jól elkülöníthetők. Néhol itt is kialakul fattyúág, ilyen például a *Baracskai-Duna* is, melyet teljes 76 km-es hosszában digitalizáltam. Eredetileg a Baracskai-Duna medre volt a főág, és csak később fordult meg a helyzet (Pallas).

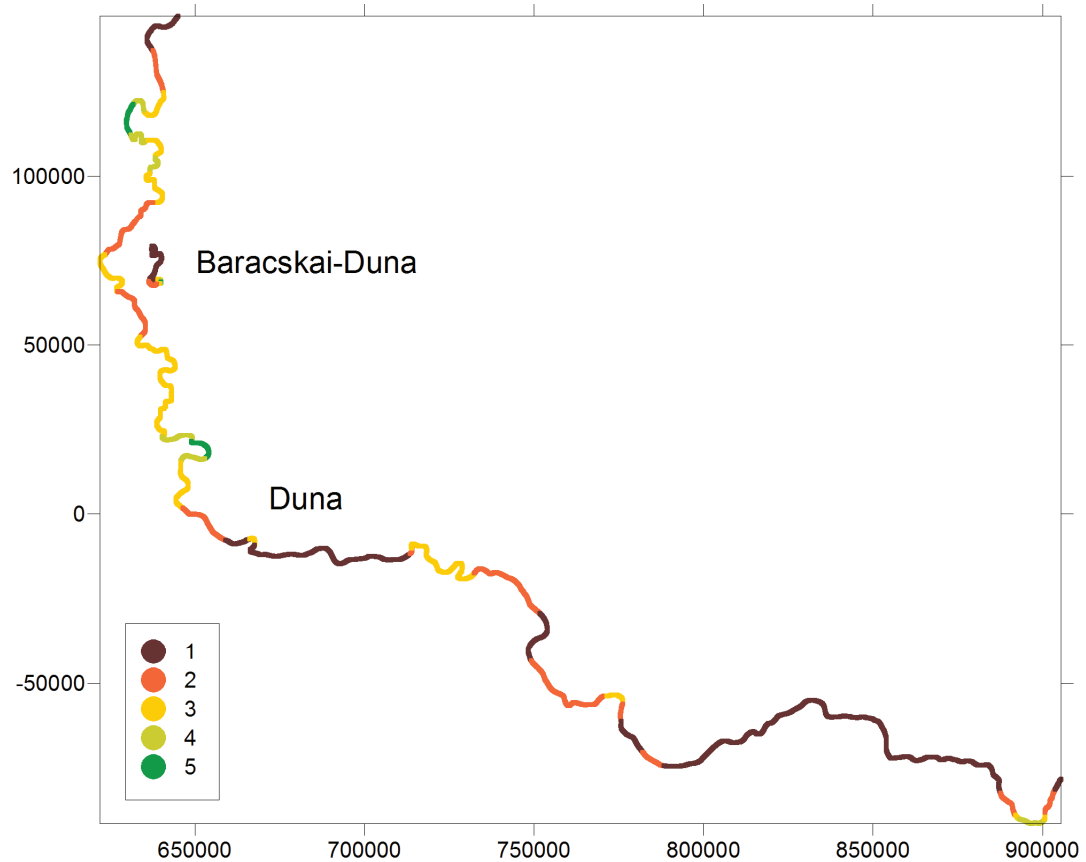
A vizsgált szakaszon három jelentős mellékfolyója is van: jobbról Drávafoknál a Dráva, Belgrádnál a Száva, balról pedig Titelnél a Tisza ömlik bele. Az ezekből érkező vízhozam és hordalékmenyiség szintén befolyással van a kanyarfejltség változásaira.



5.6. ábra. A Duna medre a Második Katonai Felmérés térképlapjain



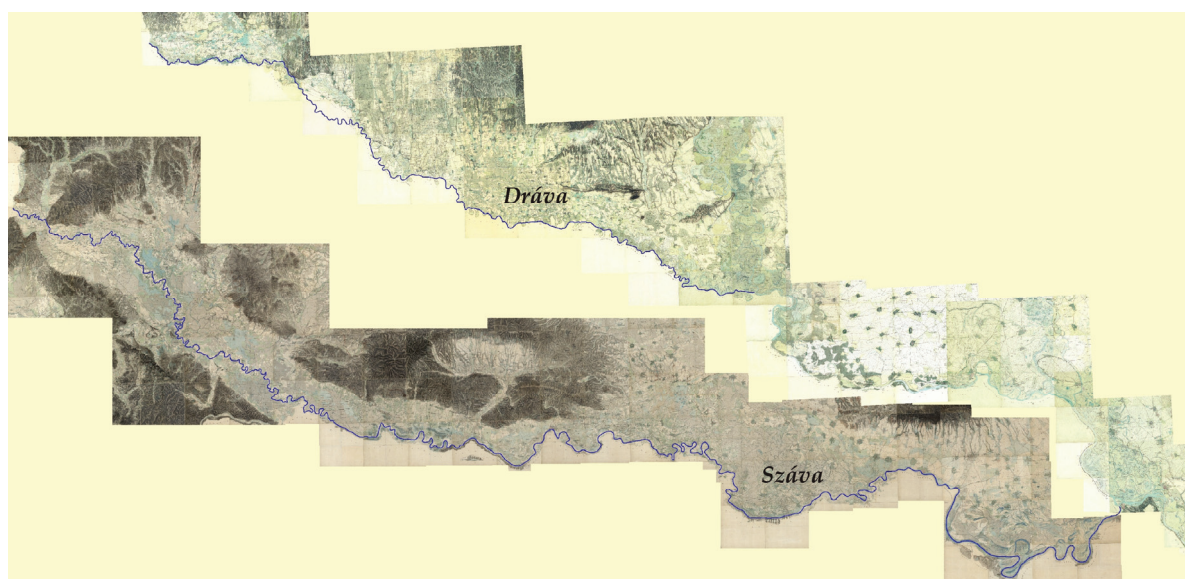
5.7. ábra. A kanyarfejltség-értékek változása a Duna mentén, a 4.1. táblázatban megadott ablakméretekkel.



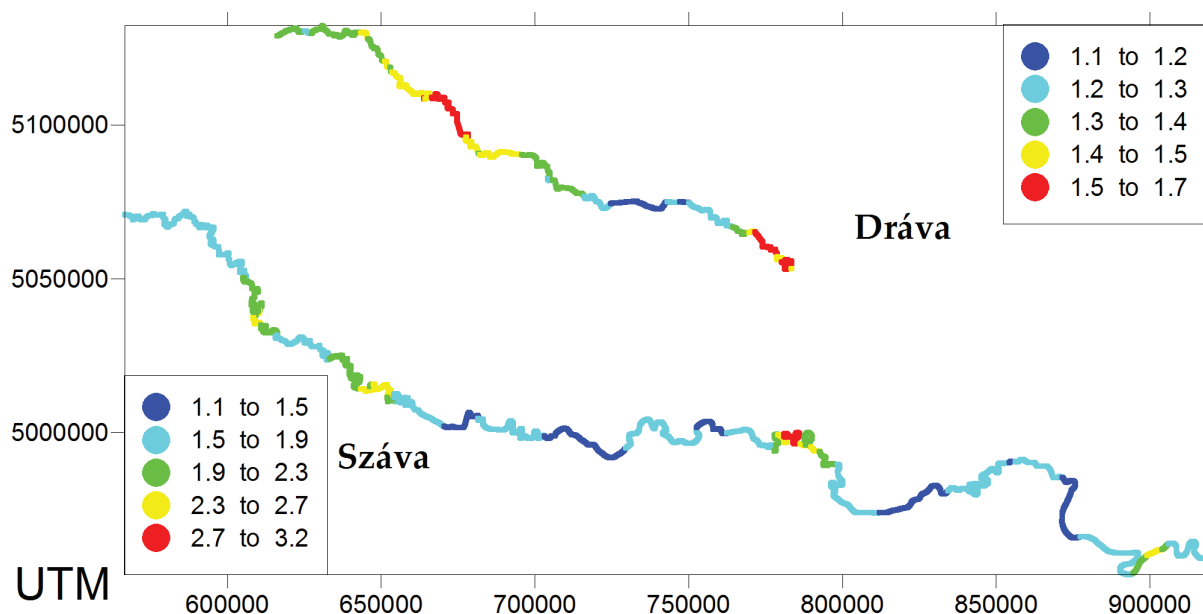
5.8. ábra. Az Isoclass osztályok változása a Duna mentén, EOV koordináta rendszerben.

5.3. Dráva és Száva

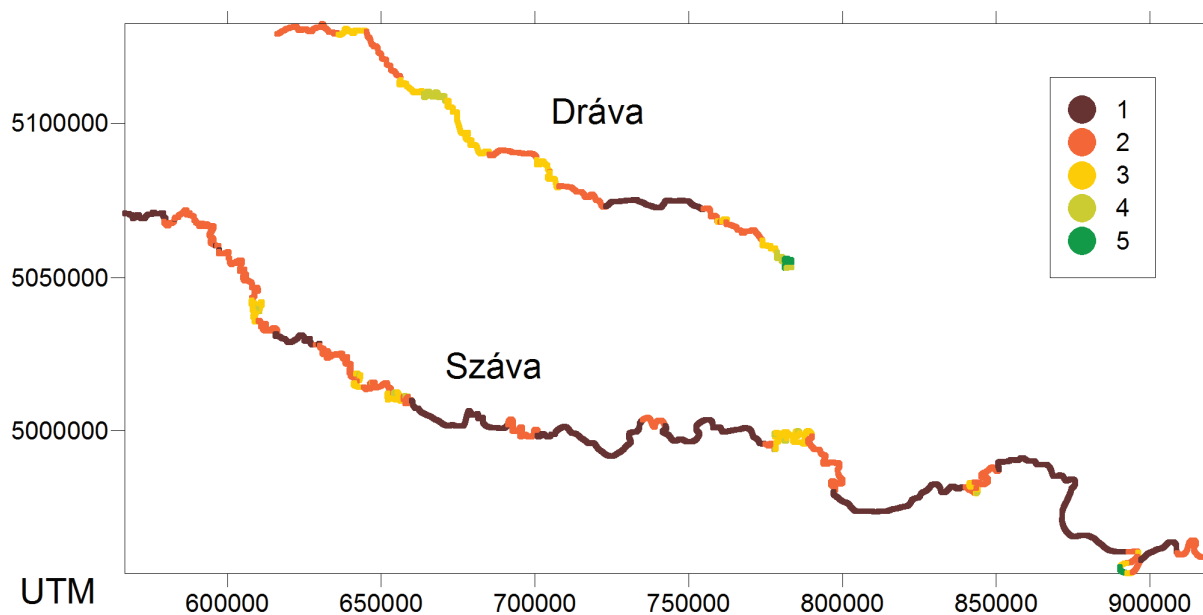
A Második Katonai Felmérés során a mai Horvátország területét 1865 és 69 között mérték fel. Erről a területről a Drávát és a Szávát digitalizáltam, 311 és 308 km hosszan (5.9. ábra). A Drávát a Dunai torkolatától kezdtem, először a Magyarországi térképek alapján, hiszen határfolyó lévén mindkét ország felmérésekor rákerült a térképekre. Van azonban útközből egy szakasza, ahol csak Horvátország területén folyik, úgyhogy ezen a részen a Horvát térképeket is használni kellett. Ennek csak az eltérő koordináta rendszerek alkalmazásánál volt jelentősége, hiszen az EOVB-ben kezdett digitalizálást UTM-ben kellett befejezni. A Szávánál ilyen probléma nem volt, azt végig lehetett UTM-ben digitalizálni (UTM 33).



5.9. ábra. A Dráva és a Száva medre a Második Katonai Felmérés térképein

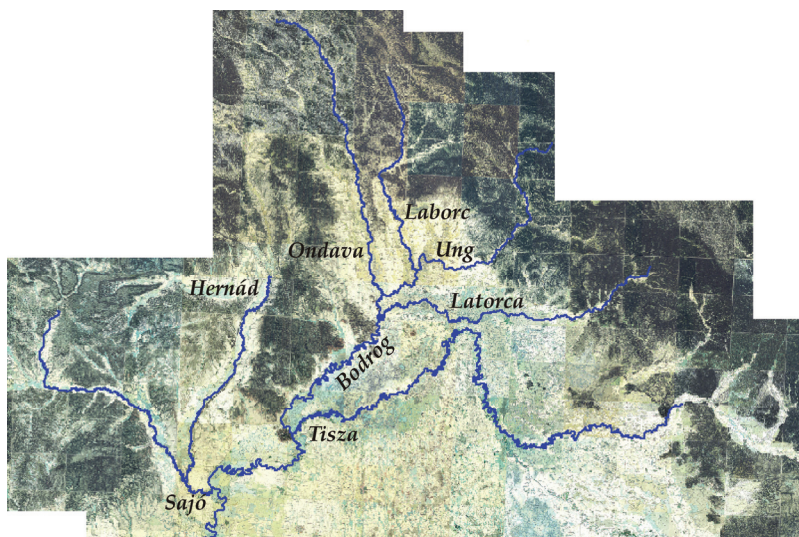


5.10. ábra. A kanyarfejltség-értékek változása a Dráva és Száva mentén, a 4.1. táblázatban megadott ablakméretekkel, UTM33 koordináta rendszerben.



5.11. ábra. Az Isoclass osztályok változása a Dráva és Száva mentén, UTM33 koordináta rendszerben.

5.4. Felső–Tisza vidéke



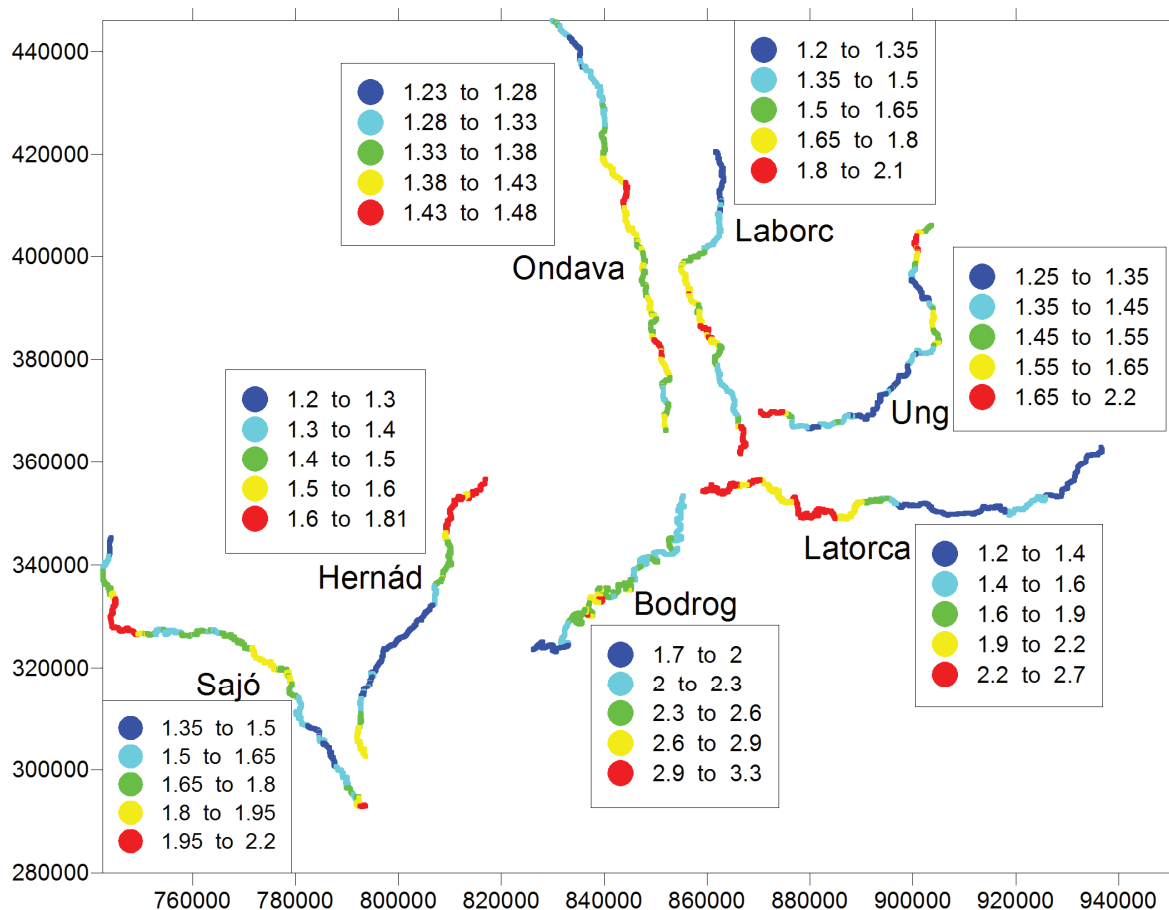
5.12. ábra. A Felső-Tisza vidék folyói

A Felső-Tisza vidékébe a Sajó, Hernád, Bodrog, Ondava, Laborc, Ung, Latorca, és természetesen a Tisza folyókat vettem bele. Az Ung a Laborcba ömlik, majd egyesülnek az Ondavával, később a Latorcával, és így hozzák létre a Bodrogot, ami innentől létezik, nincs forrása. A Bodrog Tokajnál ömlik a Tiszába, ami később a Hernáddal egyesült Sajóval is összefolyik. (5.12. ábra)

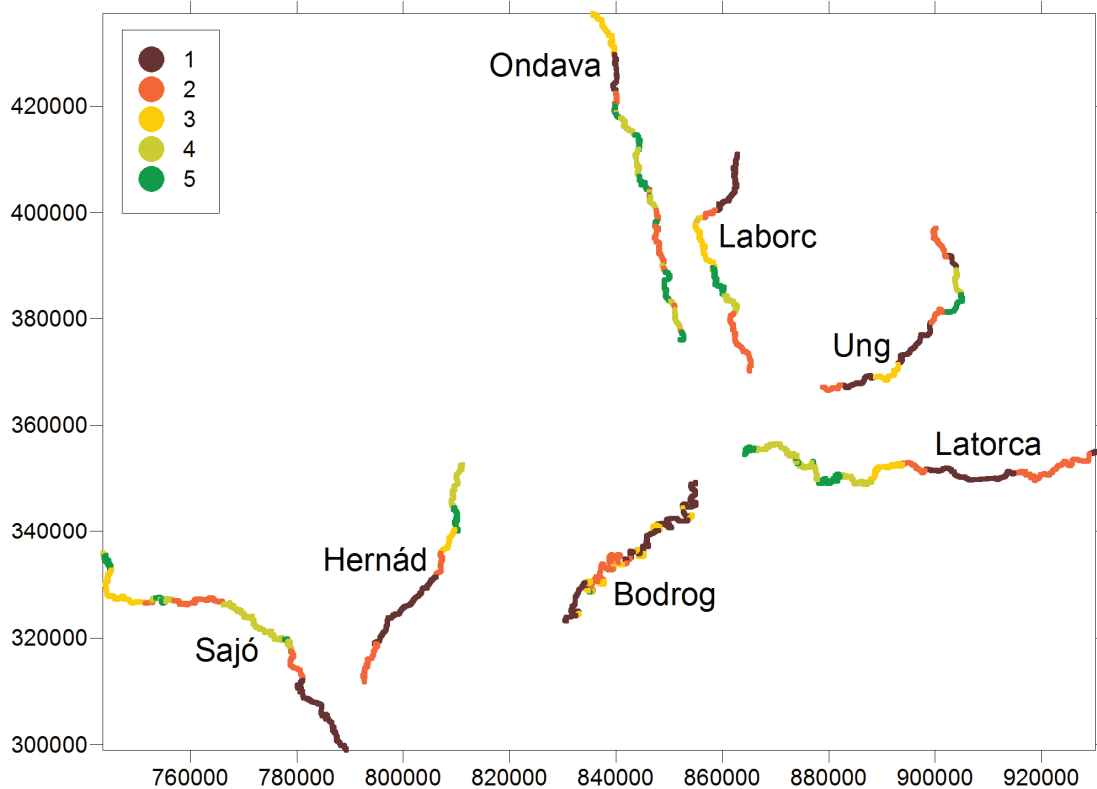


5.13. ábra. A Tisza és a Latorca Záhonynál

A Tisza és a Bodrog mentén rengeteg elhagyott medernyom látható, melyek kora néhány száz, vagy akár több ezer év is lehet (Lóki és Félgyházi). A Latorca medrét és futását is érdemes megfigyelni. A Tiszát már Záhony környékén megközelíti, távolságuk 2-3 km, de mégsem egyesülnek. Érdekes a Latorca menti (?) vízhálózat is: bár a térképen a körülötte folyó „patakoknak” van önálló neve, úgy tűnik, a folyó meanderező alakját itt szövedékesre cserélte. (5.13. ábra)

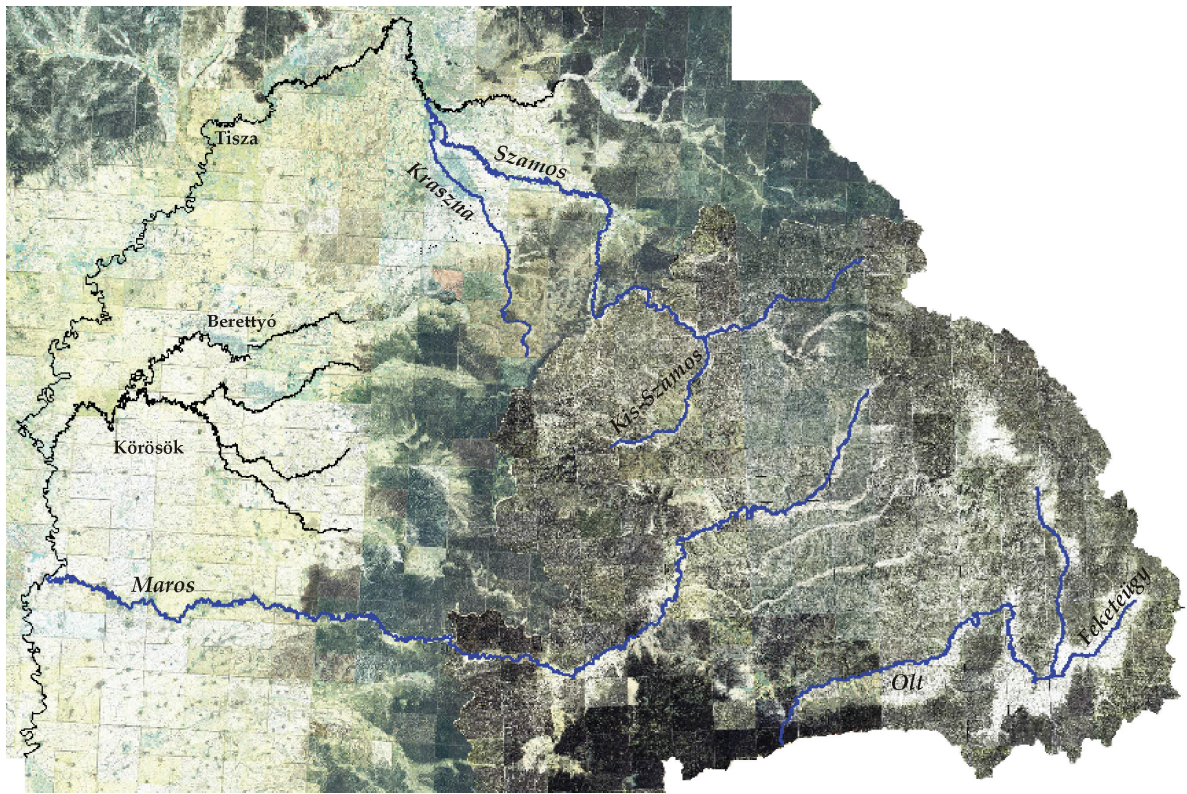


5.14. ábra. A kanyarfejlettség-értékek változása a Felső-Tisza vidékén, a folyók mentén, a 4.1. táblázatban megadott ablakméretekkel, EOY koordináta rendszerben.



5.15. ábra. Az Isoclass osztályok változása a Felső-Tisza vidékén, a folyók mentén, EOY koordináta rendszerben.

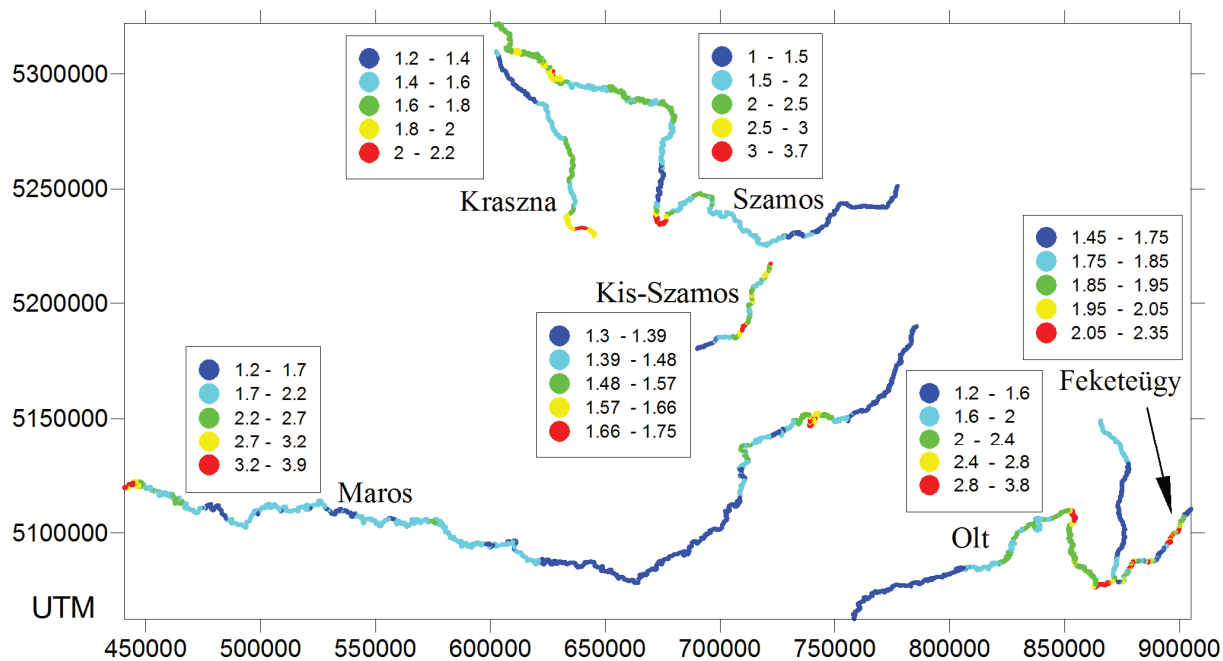
5.5. Erdélyi folyók



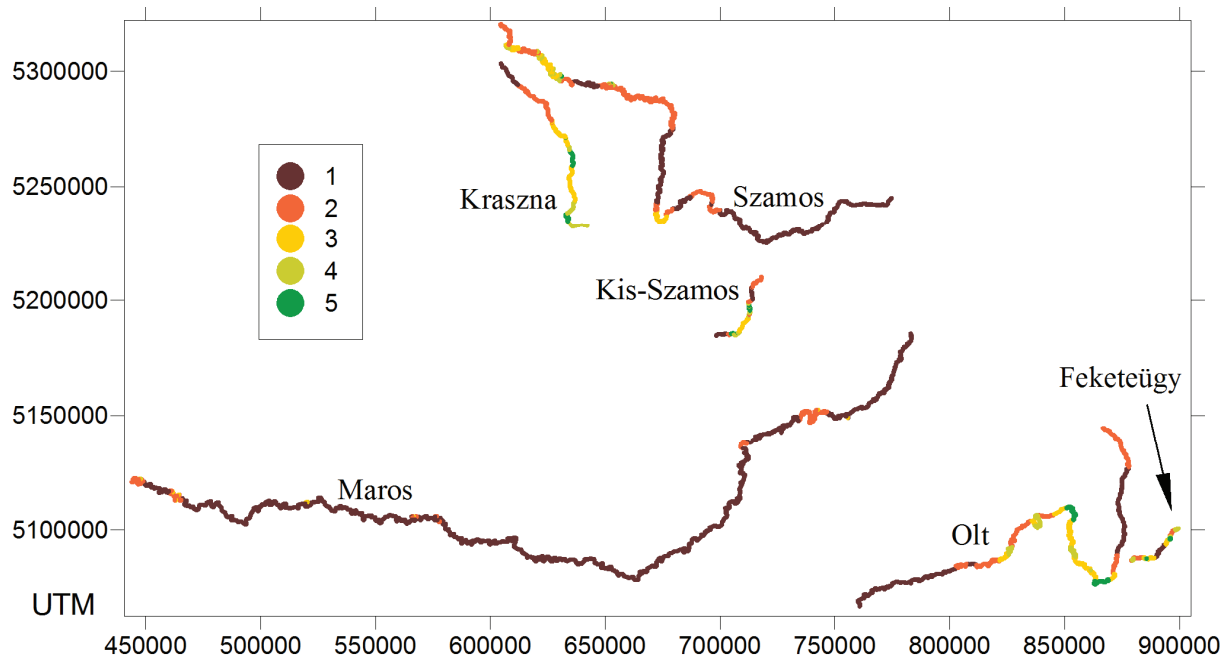
5.16. ábra. Az erdélyi folyók a Második Katonai Felmérés térképein

Erdély területéről vizsgáltam a Szamost, a Kis-Szamost, a Krasznát, a Marost és az Oltot, valamint az Olt egyik mellékfolyóját, a Feketeügyet (5.16. ábra). Az itteni folyók esés és vízhozam értékeit tekintve szintén a meanderező kategóriába esnek, annak ellenére, hogy útjukat nem egy Alföld simaságú térszín szegélyezi, hanem kisebb-nagyobb dombok, hegyek. Megvan a kellő szélességű völgy a folyók szabad meanderezéséhez, és csak néhány esetben fordulnak elő bevágódott, átöröklött völgyek, nem alluviális folyószakaszok.

Mivel a Feketeügy elég kis vízhozamú, ezért itt az egyenközü távolságot 20 méterre csökkentettem, és a kanyarfejltség számítását is már 5 km-nél kisebb ablakméretekkel elkezdtem (0,5 km; 1 km; 2 km; 2,5 km; 5 km; 10km...).



5.17. ábra. A kanyarfejlettség-értékek változása az erdélyi folyók mentén, a 4.1. táblázatban megadott ablakméretekkel, UTM34 koordináta rendszerben.



5.18. ábra. Az Isoclass osztályok változása az erdélyi folyók mentén, UTM34 koordináta rendszerben.

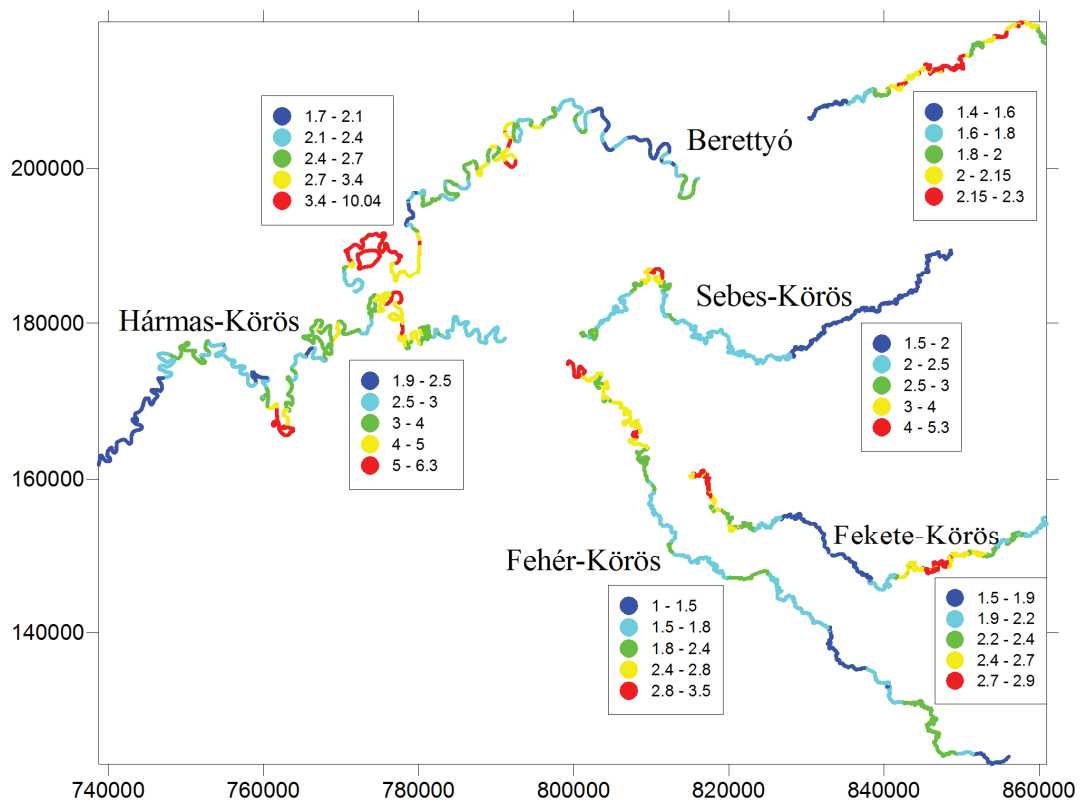
5.6. Körös-vidék

A Körös-vidékbe a *Fekete-, Fehér-, és Sebes-Körös* tartozik, valamint az ezekből létrejövő *Kettős-* (Fehér- és Fekete-Körösből) és *Hármas-Körös* (Kettős- és Sebes-Körösből), továbbá a *Berettyó* (5.19. ábra). Ezzel a területtel már a szakdolgozatomban elkezdtem foglalkozni, így a kanyarfejltség értékeket csak be kellett integrálni a létrehozott új adatbázisba, viszont az osztályozást ugyanúgy el kellett végezni, mint a többi folyó esetében.

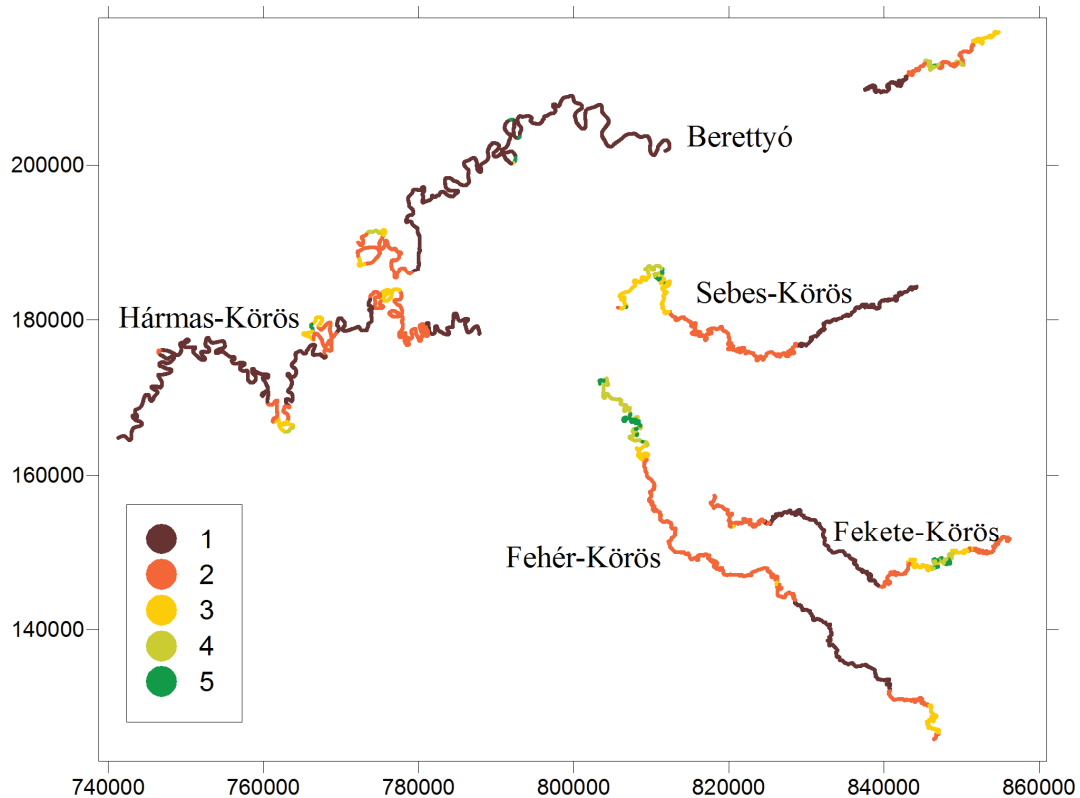
A 4. fejezetben a folyószabályozások bemutatásához erről a területről választottam példákat, így most ezekre nem térek ki újból.



5.19. ábra. A Körösök vidéke a Második Katonai Felmérés térképein



5.20. ábra. A kanyarfejlettség-értékek változása a Kőrösök vidékén, a folyók mentén, a 4.1. táblázatban megadott ablakméretekkel, EOV koordináta rendszerben.



5.21. ábra. Az Isoclass osztályok változása a Kőrösök vidékén, a folyók mentén, EOV koordináta rendszerben

6. Diskusszió

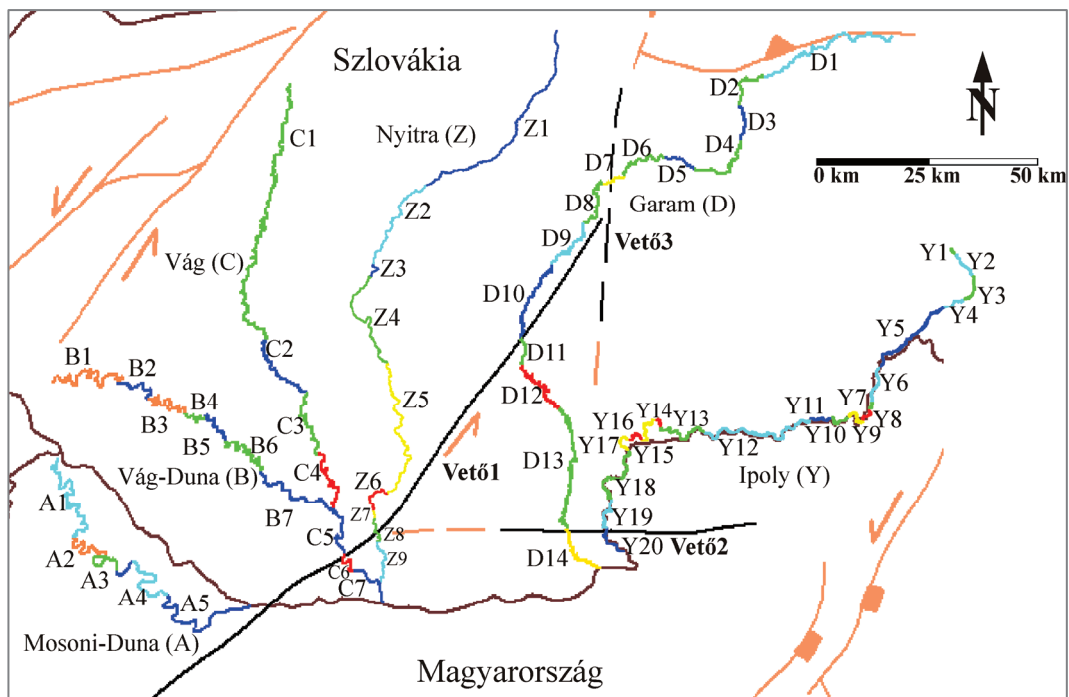
6.1. Összehasonlítás a neotektonikai térképpel

Az előző fejezetben bemutattam a vizsgált folyók mindegyikére elvégzett kanyarfejltség számítást és osztályozást. Ezek után, a könnyebb kezelhetőség kedvéért, a folyóknak adtam egy-egy betűt, és a változásokat számokkal jelöltem. A neotektonikai térképen ábrázolt vetőket sem a nevükön nevezem, hanem megszámoztam. Ennek az is az oka, hogy a vetők egyes szakaszait más-más néven említik a szakirodalomban, illetve előfordul, hogy egy adott szakasznak több neve is van. Munkám célja nem annak az eldöntése, hogy ezek a vetők léteznek-e vagy konkrétan hol futnak, a vetőket, mint bemeneti adatokat vettem figyelembe. A vetők nevei, tényleges futásuk, típusuk megtalálható Horváth et al. (2006) valamint további szerzők munkáiban (pl. Bada et al, 2007; Lenhardt et al, 2007).

A továbbiakban bemutatom a folyókat metsző vetőkre elvégzett kiértékelést, a Petrovszki et al. (2012) cikkben is ismertetett módon. Ebben arra fókuszálok, hogy van-e látványos változás az adott folyó kanyarfejltségében, és ha igen, ez hol helyezkedik el a jelzett vetőhöz képest. Természetesen fontos megjegyezni, hogy a kis szögű normál vetők felszíni vetületének megállapítása relatív nagy horizontális hibával terhelt. Továbbá a jelzett vetők gyakran vető zónák, melyek különböző, változatos dőlésű és irányú szakaszokból épülhetnek fel, sokszor nem is folytonosak.

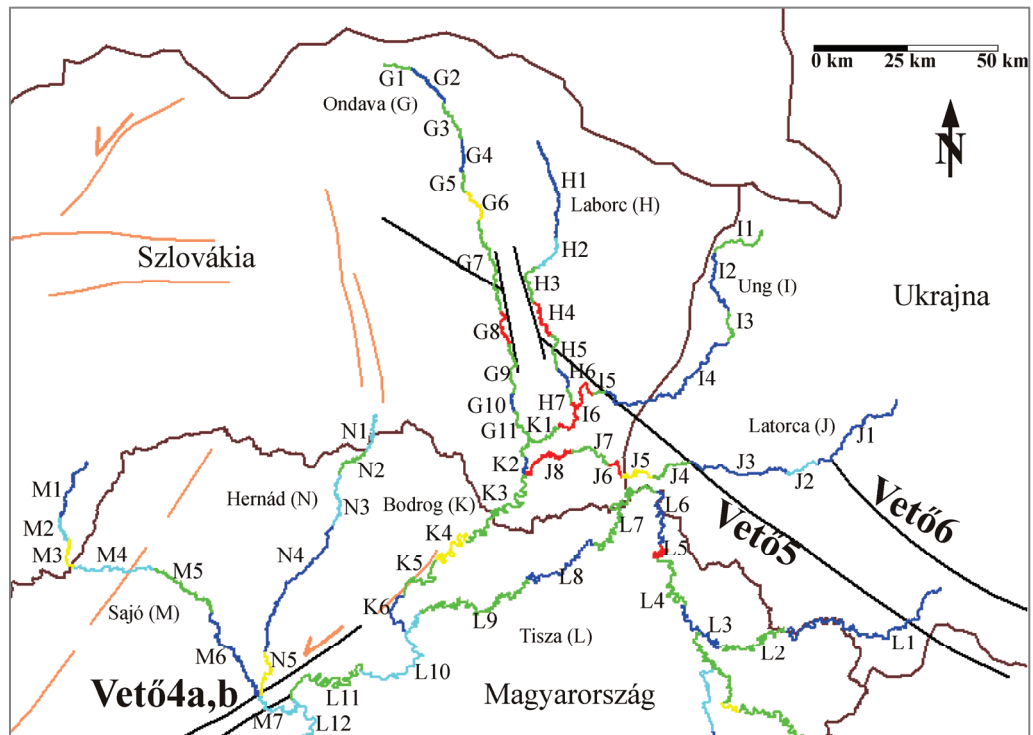
Északnyugati terület (6.1. ábra): Ahol a **Vető1** metszi a Vágot és a Garamot, a folyók kanyarfejltsége megnő (C6 és D11), a Nyitra mentén szintén található egy nagy kanyarfejltségű szakasz (Z6). A **Vető2** a Garam kanyarfejltségét növeli (D14), azonban az Ipoly mentén csökkenést eredményez (Y20). Ennek több oka lehet. A legkézenfekvőbb az lenne, hogy időközben megváltozott a vető mentén a vertikális elmozdulás iránya. Erre azonban azért van kis esély, mert az említett két folyó olyan közel van egymáshoz, hogy nem valószínűsíthető ilyen hirtelen változás (mindössze 10 km a távolság a két metszéspont között). Másik ok lehetne, hogy az egyik folyó, lejtés és vízhozam értékei alapján, már a szervezetlenül meanderező kategóriába esik, így a növekvő esésre csökkenő

kanyarfejltséggel válaszol. Azonban mindkét folyószakasz az önszervező meanderezés tartományába esik. Valószínűleg az ellentétes reakciót az okozza, hogy az Ipoly a Szlovák-Magyar határ mentén nem alluviális, hanem éppen bevágódik a Börzsöny közeteibe. A **Vető2** voltaképpen egy litológiai határ, innentől kezdve válik a folyó alluviálissá. A Garamot metsző **Vető3** bizonytalan vetőként van jelölve, de a folyó menti kanyarfejltségváltozások alapján (D6, D7, D8) valószínűsíthető a jelenléte.

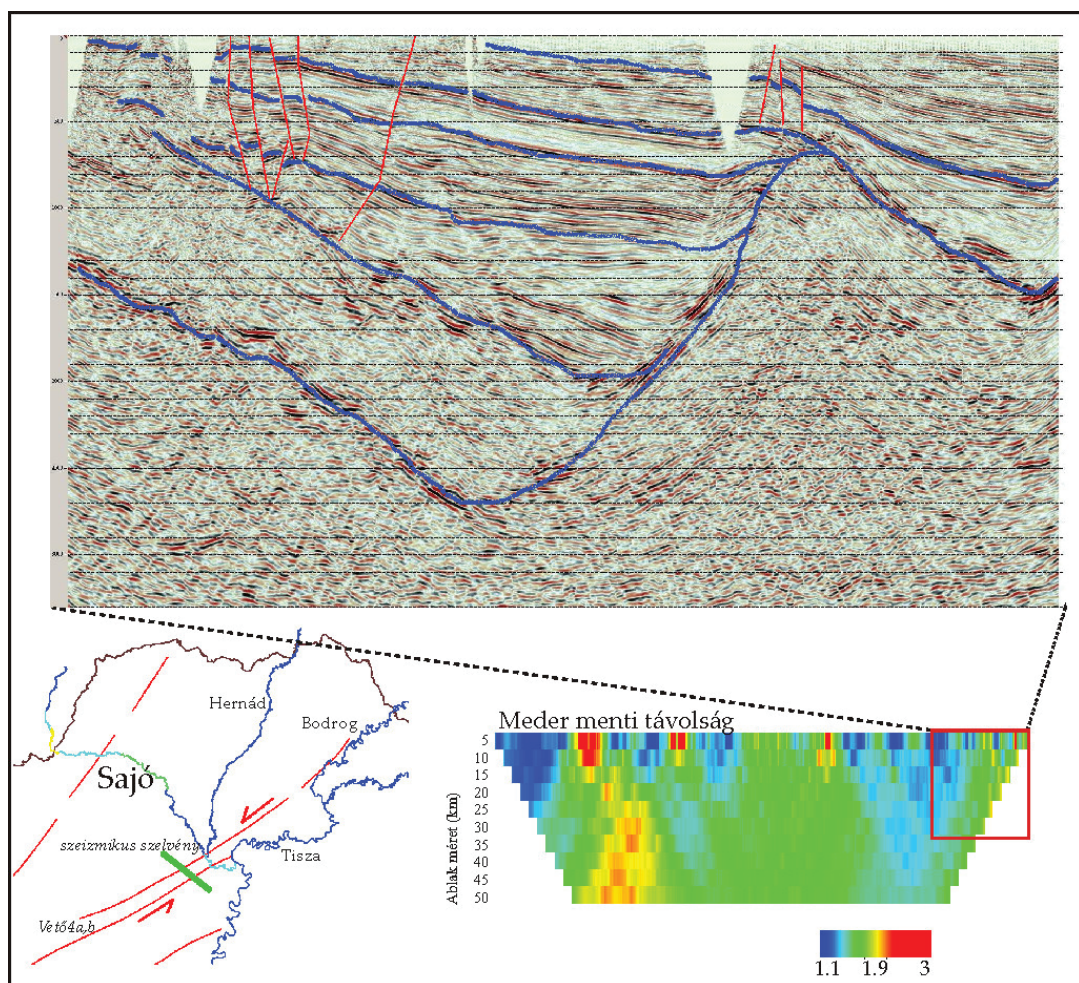


6.1. ábra. A kanyarfejltségek változása és a folyókat metsző vetők – Északnyugati terület

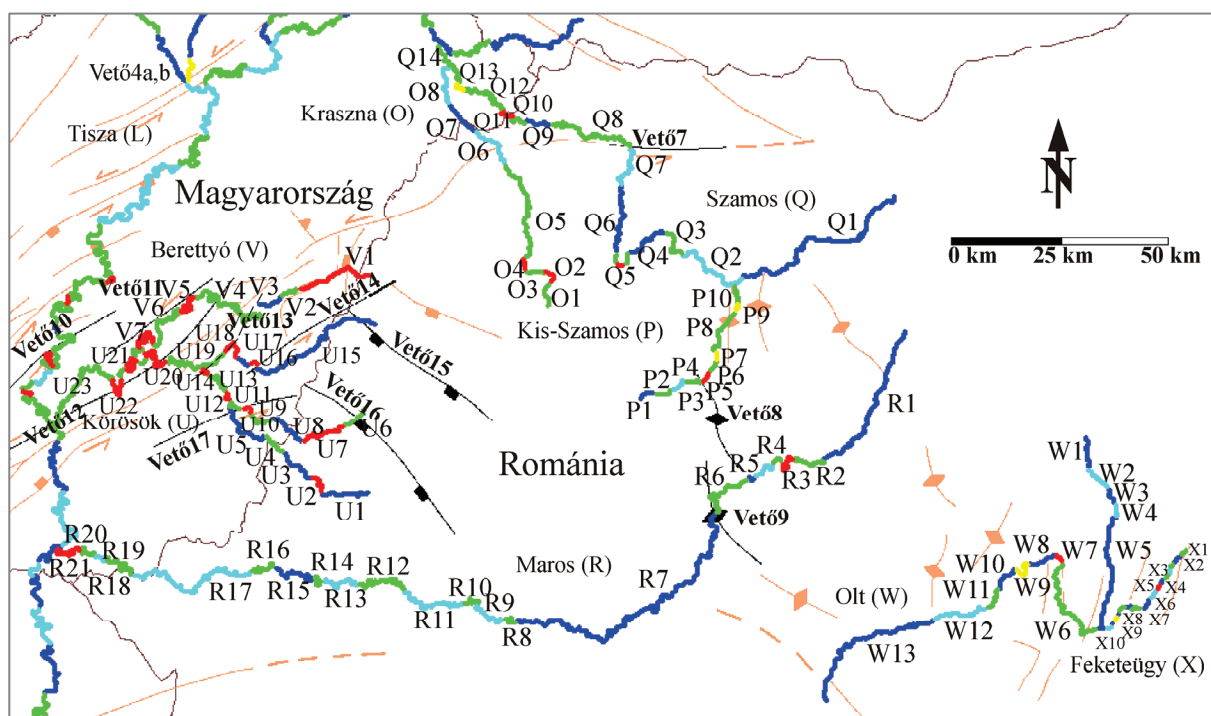
Felső-Tisza vidéke (6.2. ábra): A **Vető4a** és **4b** mentén bemutatok egy szeizmikus szelvényt is, melyen az említett vetők és az általuk okozott elvetések láthatóak (6.3. ábra). Az MK21 szelvény körülbelül 10 km-rel délre fut a Sajótól, a folyóval nagyjából párhuzamosan. A szelvényen található két vető szerepel a neotektonikai térképen is, a szelvényről pedig látható, hogy az északi blokk kiemelkedettebb helyzetű a délihez képest. A folyó kis kanyarfejltséggel folyik, mielőtt elérné a vetőket (M6), majd a vetők déli oldalán megnövekedett kanyarfejltségeket találunk (M7). A kanyarfejltség úgy változott, ahogy Ouchi (1985) modellkád-kísérletei alapján várható volt. Ha a Sajó nem folya bele a Tiszába, valószínűleg tovább nőne a kanyarfejltsége. A kanyarfejltség változás helye közel van a Hernád torkolatához, de mégsem mondhatjuk, hogy a megváltozott víz- és hordalékhozam miatt történik a változás, hiszen már a torkolat előtt nagyobb kanyarfejltségeket találunk, pont ott, ahol a folyó metszi a vetőket. Ezért valószínűsíthető, hogy a változást a vető okozza, ami annak a bizonyítéka, hogy a vető még mindig aktív.



6.2. ábra. A kanyarfejltségek változása és a folyókat metsző vetők – Felső-Tisza vidéke



6.3. ábra. MK21-es szelvény a 4a és b vetőkkel, valamint a Sajó kanyarfejltség spektruma

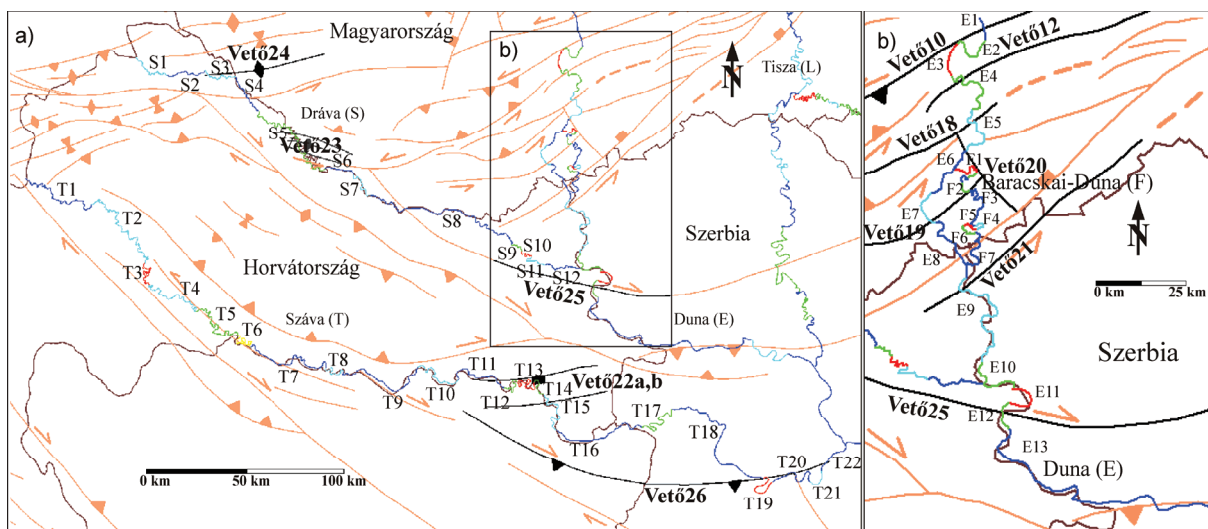


6.4. ábra. A kanyarfejltségek változása és a folyókat metsző vetők – erdélyi folyók és Körösök

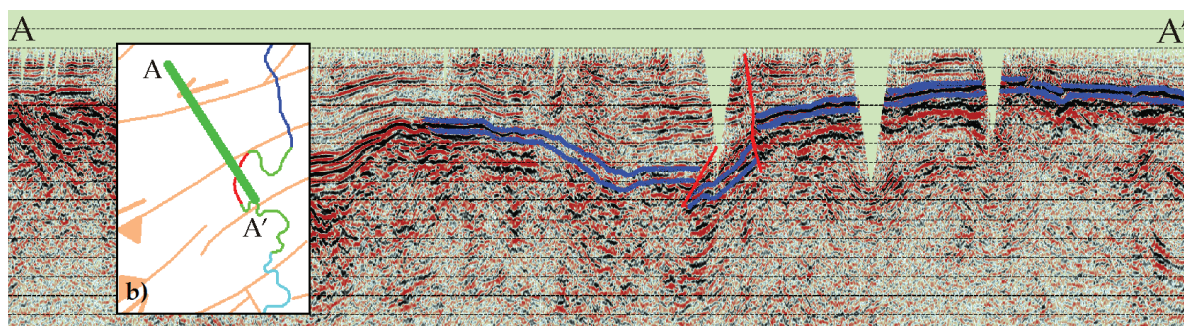
Vető5 a Bodrog mind a négy mellékfolyóját metszi, mindegyik esetben növelve a kanyarfejltséget (J4, I5, H4, G8). A **Vető6** északnyugati vége a Latorcát metszi. Ezen a helyen nem olyan jelentős mértékben, mint máshol, de növekszik a kanyarfejltség. Ez jelentheti azt is, hogy a vetőnek ez a szakasza már nem aktív, de lehet, hogy csak kisebb mértékű a vertikális elmozdulás, mint máshol.

Erdélyi rész (6.4. ábra): **Vető7** a Szamost metszi, és a közepesen kicsi kanyarfejltségeket (Q7) közepesre növeli (Q8). Ezen a területen elég kevés vető van jelölve a neotektonikai térképen, és a tanulmányozható folyókból sincs túl sok. **Vető8** a Kis-Szamos közepes kanyarfejltség értékeit (P4) nagy értékekre növeli (P5). **Vető9** a Marost metszi, és lecsökkenti a kanyarfejltségét (R6: közepes, R7: kicsi). Tehát a vertikális elmozdulás iránya a folyásirányhoz képest pont ellentétes, mint a 8-as vetőnél.

Vető10 a Dunát (6.6. ábra) és a Tiszát is metszi, mindkét folyó esetén növelve a kanyarfejltségeket. Ezzel a vetővel szinte párhuzamosan találjuk a **Vető12**-t, ami még a Hármasköröst is metszi (6.4. és 6.5. ábra). A Duna mentén az értékek lecsökkennek (E3: nagy, E4: közepes). A Hármaskörös mentén szintén közepes és nagy kanyarfejltségeket találunk a vető két oldalán (U20, U22).



6.5. ábra. A kanyarfejltségek változása és a folyókat metsző vetők – Duna, Dráva, Száva



6.6. ábra. Vető10 szeizmikus szelvényen: amikor a Duna metszi, a folyó kanyarfejltsége megnő (b).

U14 és U18 szakaszok nem pontosan a **Vető13** mentén vannak, hanem attól kicsit délkeleti irányban. Erről a szakdolgozatomban már részletesen írtam. Az ott bemutatott szeizmikus szelvények, valamint a folyó jelentős kanyarfejltség változásai alapján módosítható a neotektonikai térkép. **Vető15** a Sebes-Köröst metszi. Ezen a helyen nem igazán változik a kanyarfejltség, viszont a folyó mintázata igen: meanderező helyett szövedékes alakításúvá válik (Petrovszki és Mészáros, 2010; Petrovszki és Timár, 2010; Petrovszki, 2009a,b).

Vető18, **Vető19** és **Vető20** a Dunát, **Vető19** a Baracskai-Dunát is metszi (6.5. ábra), mindegyik esetben csökkentve a kanyarfejltséget (**Vető18**: E4-közepes, E5-kicsi; **Vető19**: F2-közepes, F3-kicsi és E7-közepesen kicsi, E8-kicsi; **Vető20**: F1-nagy, F2-közepes és E5-közepesen kicsi, E6-kicsi) **Vető21** viszont megnöveli kissé a kanyargást.

Dráva és Száva (6.5. ábra): **Vető22a** a Szávát metszi, és a neotektonikai térkép alapján egy normál vető, aminek az északi része kiemelkedettebb helyzetben van, mint a déli. A folyó megnövekedett kanyarfejltsége (T12, T13) is ezt támasztja alá. **Vető22b** esetében pont fordított a helyzet, amire a folyó a kanyarfejltsége csökkentésével reagál (T15).

Vető23 inkább vetőrendszer, ahogy az a térképen is látszik. A Dráva közepes kanyarfejlettséggel (S5) metszi ezeket a szerkezeti vonalakat, majd kanyarfejlettsége lecsökken (S6). **Vető24** esetében azonban ismét egy kanyarfejlettség növekedést találunk (S3).

Vető25 oldalelmozdulásként van jelölve. Bár van kanyarfejlettség változás, nem biztos, hogy csak a vertikális elmozdulás, azaz a völgylejtés megváltozása okozhatta, hanem lehet csak simán a kőzetblokkok elmozdulása során kialakult nagy kanyar (E11) hatása is.

Vető26 szintén normál vető, aminek hatására a Száva kanyarfejlettsége kicsiről (T18) nagyra (T19) változik.

6.7. ábrán feltüntettem a kanyarfejlettség változásokat a neotektonikai térképen, jelölve, hogy mely vetők mentén jelennek meg a jelentős változások. Ugyanez megtekinthető táblázatba rendezetten is (6.1. táblázat).

Az osztályozást szintén az összes digitalizált folyóra elvégeztem, de folyónként külön (6.8. ábra). A módszerből adódóan, az elemezhető szakaszok általában néhány km-rel rövidebbek, mint a kanyarfejlettségeknél. Mivel 5-50 km-es ablakméretekre osztályoztam, a vizsgált folyók első és utolsó 25 km-es szakaszára nem kaptam eredményt, mert ott nem volt minden csatornán érték, így nem lehetett osztályozni sem. Emiatt aztán néhány esetben előfordult, hogy az így létrejött rövidebb folyószakasz nem jutott el a neotektonikai térképen ábrázolt vetőig, így a vető hatását sem lehetett vizsgálni. Ez az eset áll fenn például a Vág és **Vető1** esetében, de ugyanezt találjuk a Garam és Ipoly és **Vető2**-nél is...

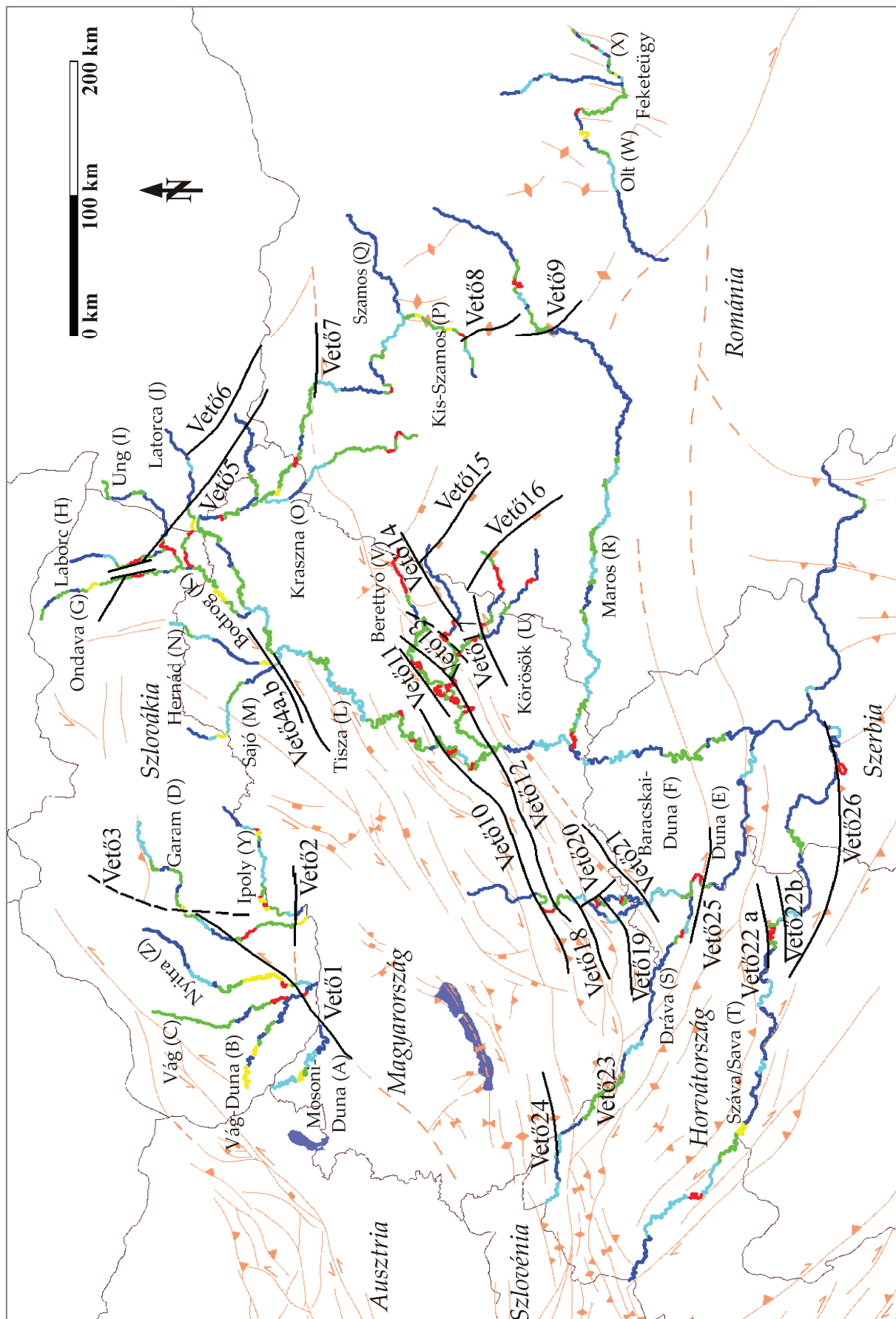
Ahol viszont a vetők metszették a folyókat, az osztályozott eredmények szép egyezést mutatnak a kanyarfejlettség értékek változásával. A folyó pontjai a vető két oldalán különböző osztályokba lettek sorolva. A Garam pontja **Vető1** egyik oldalán 2-es, másik oldalán 3-as osztályba kerültek. A Duna esetén alátámasztotta a **Vető10**, **Vető12**, **Vető18**, **Vető20** és **Vető21** neotektonikus aktivitását. A Felső-Tisza régióban **Vető5** mentén is különböző osztályokat találunk a vető két oldalán (kivéve az Ungnál, aminek az elemzett szakasza nem éri el a vetőt). A Kis-Szamos, Maros, Körösök, Dráva és Száva mentén is hasonló eseteket találunk (6.8. ábra).

Általánosságban megállapítható, hogy a legtöbb esetben a folyók kanyarfejlettsége megváltozott, amint metszték a neotektonikai térképen feltüntetett szerkezeti vonalakat. Az eredmények alátámasztják a vetők aktivitásán kívül azt is, hogy az adott vető rendelkezik vertikális komponenssel, még akkor is, ha oldalelmozdulásként van ábrázolva. Néhány esetben a kanyarfejlettség értékeket vizsgálva akár még a vetők felszíni vetületének helyét is pontosítani lehet.

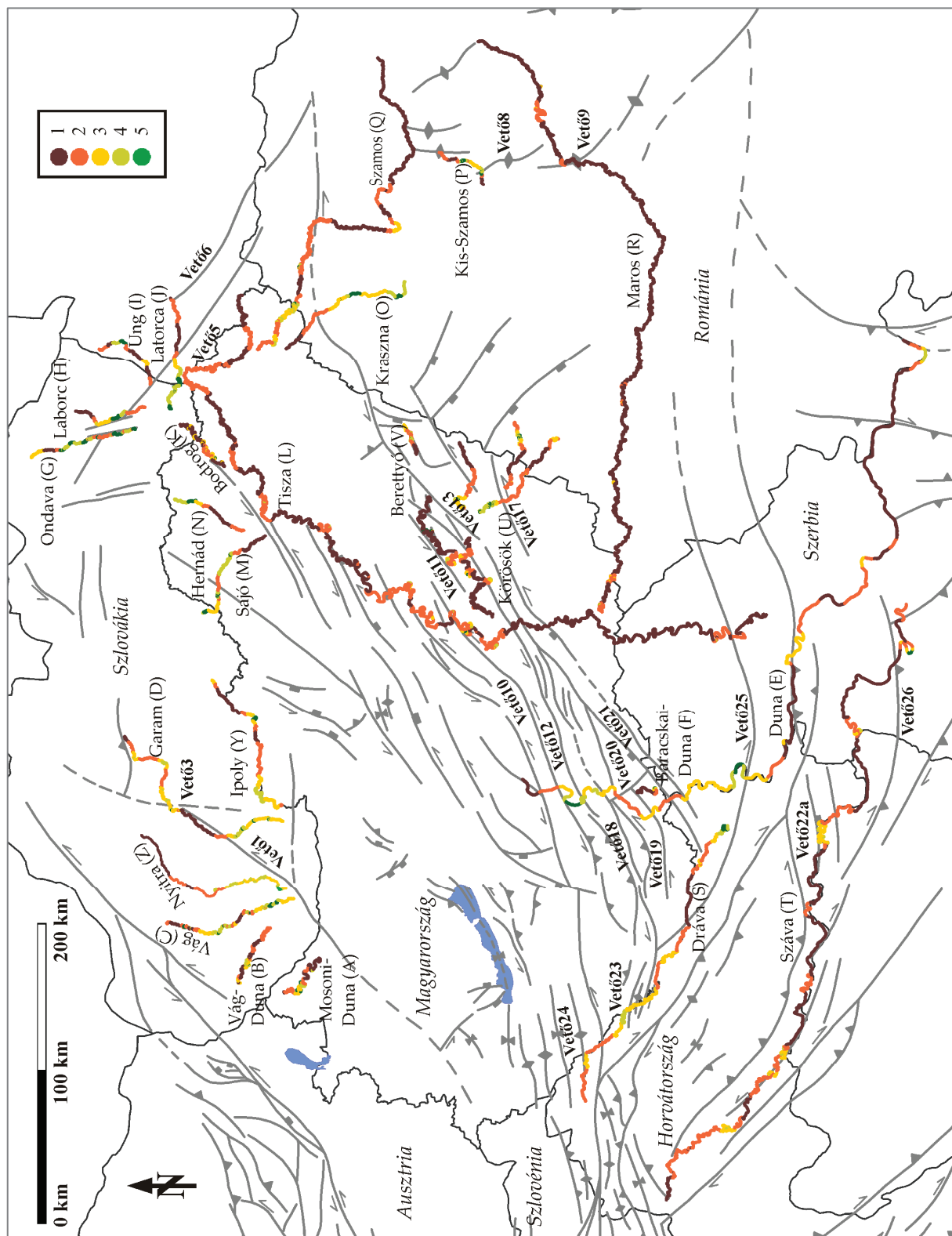
Természetesen azoknak a vetőknek az aktivitását nem lehet kimutatni, amelyek nem metszenek folyókat, illetve nem szabadon meanderező folyókat metszenek. Ha egy vetőt csak egy folyó keresztez, már abból is levonhatunk a neotektonikára vonatkozó következtetéseket, de még meggyőzőbbek az eredmények, ha több folyó is átfolyik a vizsgált vetőn. **Vető2** például 2 folyót metsz, **Vető1** 3-at, **Vető5** 4-et, **Vető12** hatását pedig 5 folyó mentén követhetjük nyomon, több mint 200 km hosszan (Duna, Tisza, Kettős- és Hármaskörös, Berettyó). **Vető12** esetén megállapíthatjuk, hogy a vetőtől délre a folyóknak kisebb a kanyarfejlettsége, mint attól északra. Kivéve a Hármasköröst. Ennek az az oka, hogy **Vető12** oldalelmozdulás, a szeizmikus szelvényeken virág-szerkezetek láthatóak. A virág-szerkezet blokkjai különböző irányokba mozoghatnak, egymáshoz képest kiemelkednek vagy lesüllyednek. Ezáltal az adott helyen a vertikális elmozdulás iránya is megváltozik.

Vannak viszont olyan helyek, ahol jelentős kanyarfejltség-változások találhatók, de a neotektonikai térképen nem jelölnek vetőt az adott helyen. Ezek a helyeken szeizmikus szelvényeket kell elemezni, kimutatható-e ott valamilyen vető. Gyakran viszont nem áll rendelkezésre szeizmikus szelvény az adott területről (nem volt mérés vagy nem elérhető az adat). Az is előfordulhat, hogy van szelvény, de nincs rajta vető. Természetesen nem csak vető okozhat vertikális elmozdulást, és nem csak vertikális elmozdulás okozhat kanyarfejltség-változást (pl. változó víz- és hordalékhozam; bedrock-allúvium váltás; ld. 2. fejezet).

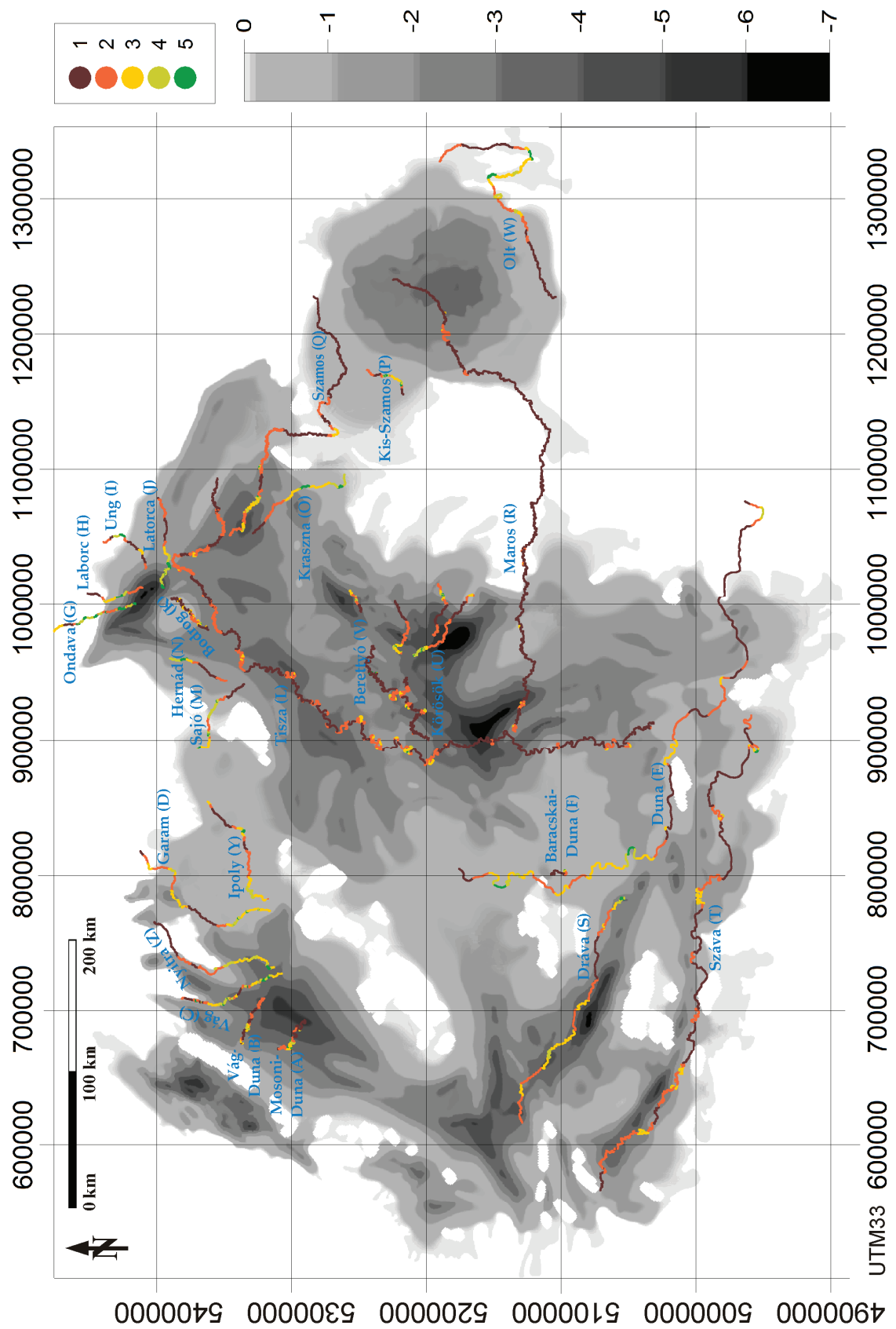
A térszín süllyedését is több folyamat okozhatja. Magyarország területét Sümeghy (1953) egy pleisztocén üledékektől részben lepusztított nyugati és egy pleisztocén üledékekkel feltöltött, süllyedő keleti részre osztotta. Az Alföldi üledékgyűjtő medencék központja a Maros és Körös közé esett. Az erózióbázis változás a paleo-Duna és paleo-Tisza progradálását is befolyásolta (Magyar et al., 2012). A kvarter idején a medence mélyebb területein megnövekedett a süllyedés mértéke (Horváth és Cloething, 1996). A süllyedés mértéke gyakran változott, így a folyók is gyakran változtatták medrüket (Joó, 1992; Franyó, 1992). Joó (1992) ismételt szintezésekből megalkotta Magyarország felszínének magassági szintváltozásait bemutató térképét. Napjainkban azok a leginkább süllyedő területek, ahol jelentős víz és szénhidrogén kitermelés zajlik (Franyó, 1992; Joó, 1992). Viszont 150 évvel ezelőtt még nem ezek a folyamatok okozták a legjelentősebb süllyedéseket, hanem a fiatal üledékek kompaksiója (ez a folyamat jelenleg is megfigyelhető, csak a vízkivétel hatása nagyobb). A kompaksióból eredő süllyedések vizsgálatához a negyedidőszaki üledékvastagság térképet vizsgáltam (Horváth, 1985). Ahol vastagabb az üledék, ott a kompáció során nagyobb mértékű a süllyedés. A 6.9. ábrán bemutatom a kvarter üledékvastagság térképet és a folyók menti osztályváltozásokat.



6.7. ábra. A kanyarfejliségek alakulása és az ismert vetők helyzete a folyók mentén.



6.8. ábra. Az isoclass osztályok és az ismert vetők helyzete a folyók mentén

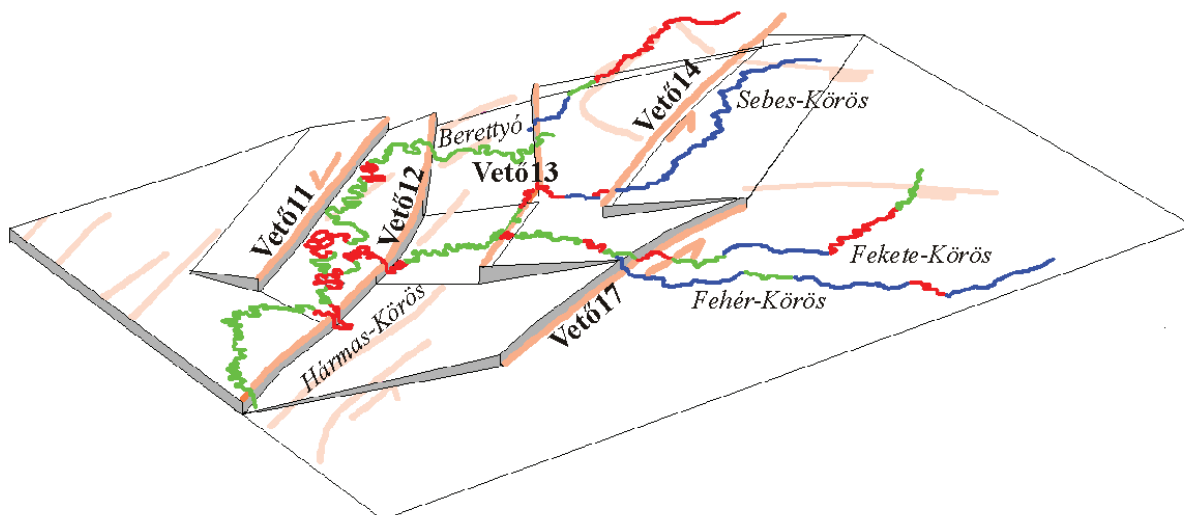


6.9. ábra. Az isoclass osztályok (színes) a kvarter üledékvastagság (Horváth, 1985) térképen (fekete-fehér) ábrázolva, UTM33 koordináták szerint.

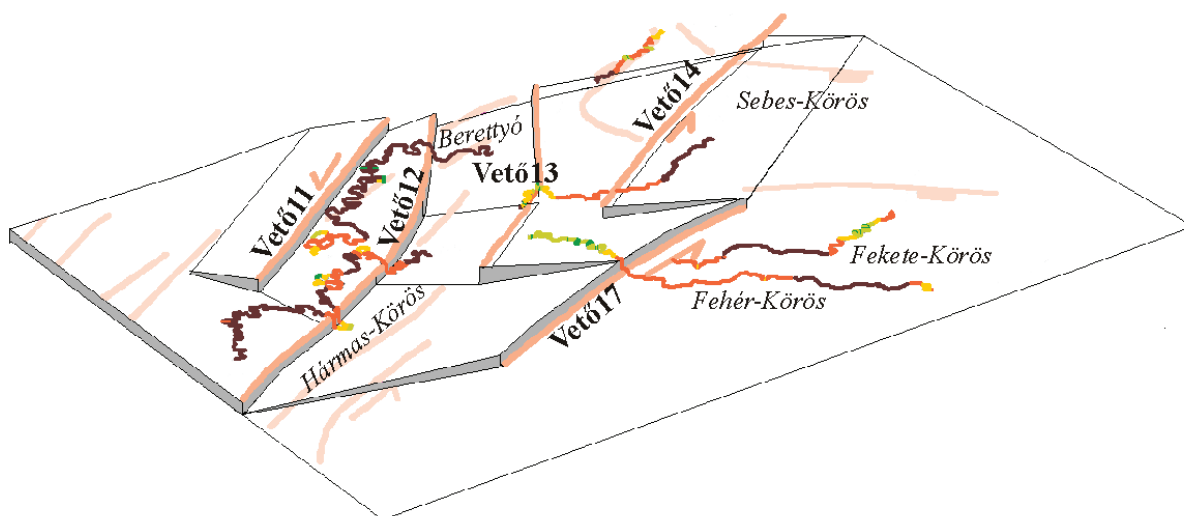
6.2. Esettanulmányok

Körösök vidéke:

Az eddigiek során azt mutattam meg, melyik kanyarfejltség melyik vetővel függhet össze. Ahhoz, hogy jobban megérthessük, miről is van szó, melyik változás milyen irányú felszínmozgás miatt jöhetett létre, készítettem egy blokkokból álló modellt (6.10. ábra). A blokkok vertikális elmozdulásait csak szemléltetesként jelöltem, csak az irány érzékeltetésére, nincs köztük a valós kiemelkedési és süllyedési rátákhoz. Emellett még magasságilag is túltorzított a rajz. Néhol úgy tűnik, mintha a folyók egy magasabban lévő pont felé folynának. Ez fizikailag lehetetlen. Ha a blokkoknál jeleztem volna az eredeti felszín lejtését, akkor látszódná, hogy valójában nem egy feljebb pont felé folynak, hanem csak a felszín esése csökkent le (ld. 2.5. ábra).

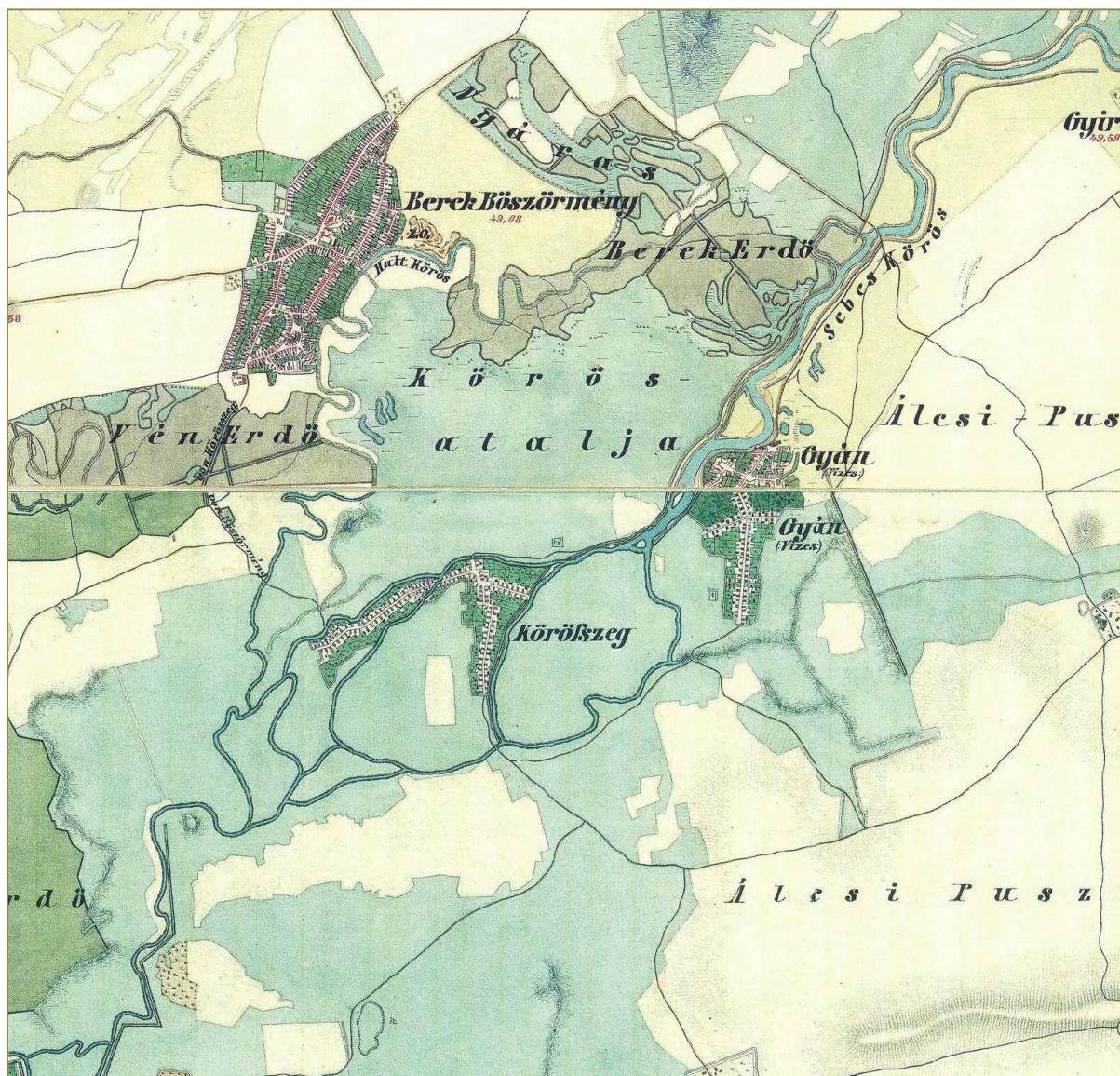


6.10. ábra. A Körösök kanyarfejltségeit és a neotektonikai térképen jelölt vetőket Ouchi modell-kád kísérleteivel összehasonlítva az ábrán jelölt felszínmozgás irányokat lehet valószínűsíteni. Az ábra csak a mozgások irányát hivatott bemutatni, az elmozdulás mértékét nem modellezi. (Petrovski és Timár, 2010)



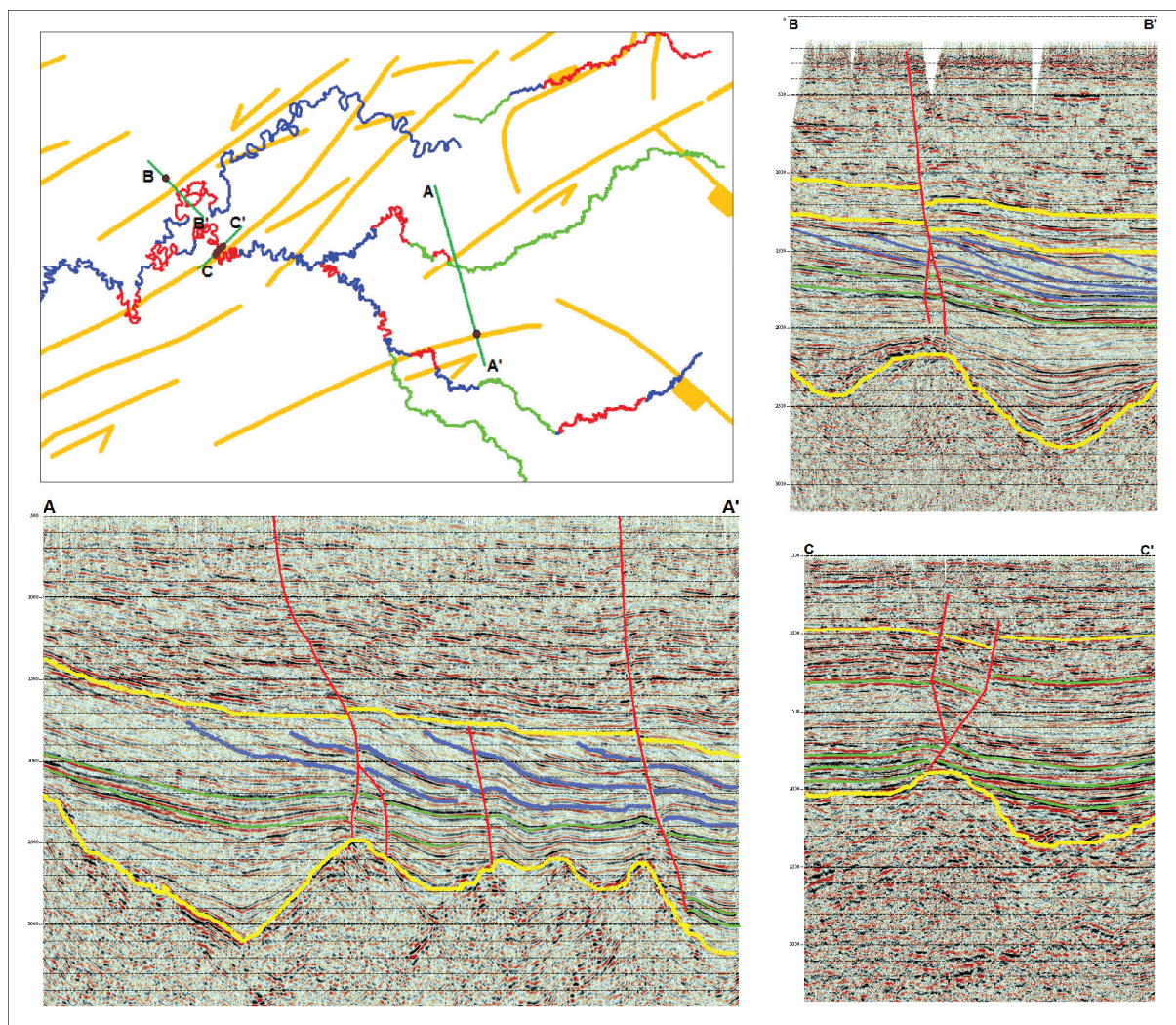
6.11. ábra. Az ISOCLASS osztályok és a neotektonikai térkép vetői, az 6.10. ábrán bemutatott blokkokon.

A blokkok egymáshoz képesti elmozdulásának irányát szeizmikus szelvények elemzésével állapítottam meg (6.13. ábra), de a folyók kanyarfejltség változásai is ezt támasztják alá. Tehát a kétféle módszer igazolja egymást. Hasonló eredményeket kaptam akkor is, amikor az *ISOCLASS* osztályokat hasonlítottam össze a neotektonikai térképen jelölt vetőkkel, bár némelyik folyószakasz nem ért el a vetőig (6.11. ábra).



6.12. ábra. A Sebes-Körös természetes medre Berekböszörménynél, a Második Katonai Felmérés térképlapjain.

A Sebes-Köröst metsző *Vető15* nincs aktív vetőként megjelölve a 6.10. ábrán, mert ott a kanyarfejltség nem változik jelentősen. Viszont digitalizálás közben feltűnt, hogy itt megváltozott a folyó alaktípusa (Petrovszki és Mészáros, 2010; Petrovszki és Timár, 2010; Petrovszki, 2009a,b), meanderezőből szövedékessé (6.12. ábra), ami szintén a felszínmozgások következménye lehet (ld. Ouchi (1985) és Schumm és Khan (1972) modellkád kísérleteit, 2. fejezet). A vidék lejtése nagyon kicsi, a folyó kis kanyarfejltséggel folyik. Valószínűleg a túl kicsi völgylejtés miatt vette föl inkább ezt az elágazó formát (Petrovszki, 2009a).



6.13. ábra. Az 6.10. ábrán bemutatott felszínmozgások irányának megállapításához/igazolásához felhasznált szeizmikus szelvények. (Petrovski, 2008; szelvények: tanszéki adatbázisból)

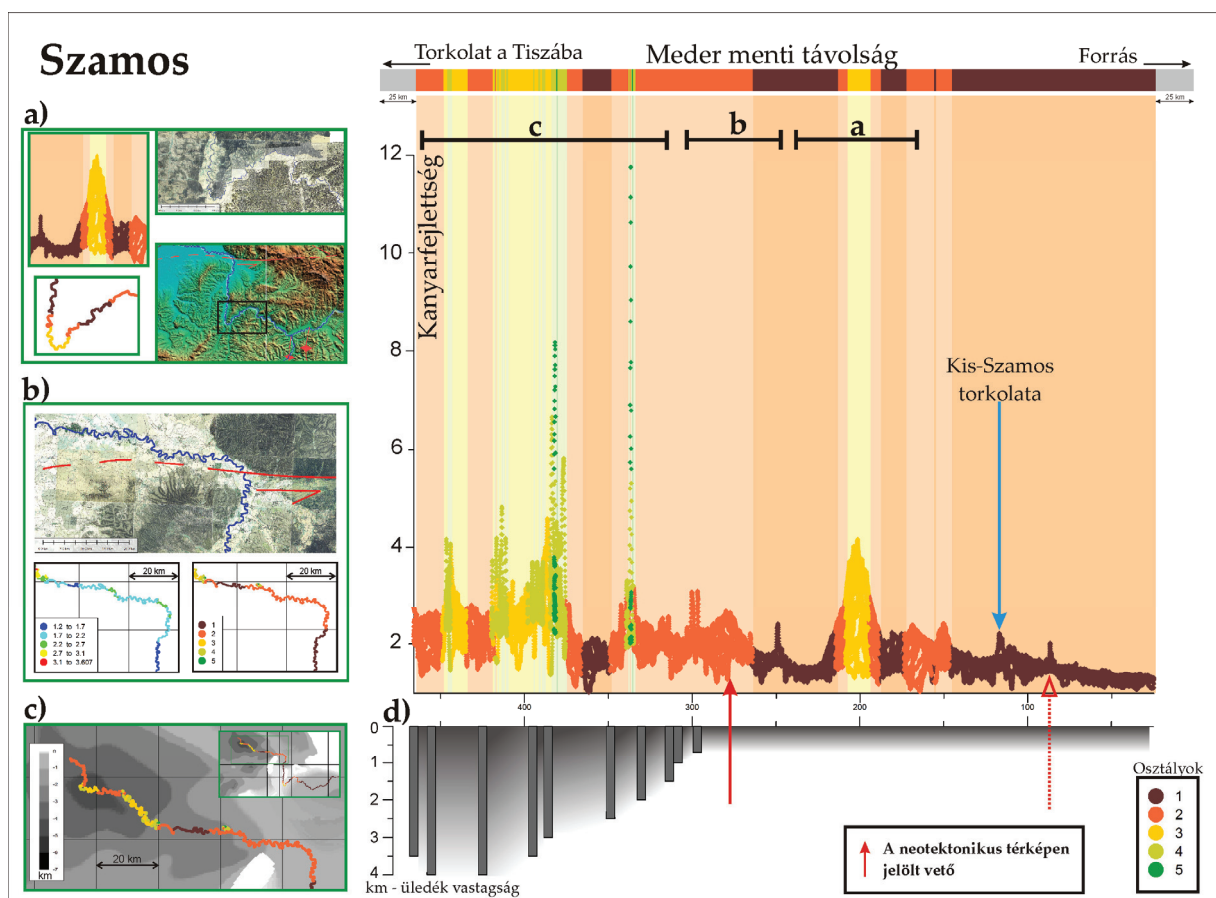
Szamos:

A **Nagy-Szamos** kis kanyarfejlettséggel kezdi futását, és az itteni pontjai egyes osztályba tartoznak (6.14. ábra). A kanyarfejltség értékek csak két helyen növekszenek meg kissé. Az első helynél a neotektonikai térkép jelöl egy vetőt, de csak a legvége ér el idáig, így a vertikális elmozdulás sem jelentős. A másik növekedés Dézsnél található, ahol a Kis-Szamosmal egyesül. Ezt a növekedést a megváltozott víz- és üledékhozam okozhatja.

Sokkal jelentősebb kanyarfejltség növekedéssel találkozunk Zsibó környékén, ahol még az osztályok is változnak (6.14.a. ábra). Ez a növekedés a terület geológiájával hozható kapcsolatba. Itt a folyót nem tekinthetjük alluviálisnak, sem szabadon-meanderezőnek, hiszen egy bevágódott, átöröklött völgyben folyik (ld. 3. fejezet).

Lukácsfalva és Ilba között találjuk a következő növekedést (6.14.b. ábra). Ez kapcsolatba hozható a neotektonikai térképen jelölt vetővel. A térkép oldalelmozdulást jelöl, de a kanyarfejlettség-értékek alapján valószínűleg van vertikális komponense is.

A legnagyobb kanyarfejlettség értékekkel (>4) Szamosveresmart és a torkolat közötti szakaszon találkozunk (6.14.c. ábra). Ezen a szakaszon a neotektonikai térkép nem jelez vetőt, és a geológiai háttér sem változik. Vertikális elmozdulás származhat kompaktiótól is. Ezért megvizsgáltam a területen a kvarter üledékek vastagságát (Horváth, 1985). Ezen a szakaszon az üledékvastagság 1 km-ről 5 km-re változik, míg a folyó többi szakaszán maximum 1 km vastag (6.14.d. ábra). Így valószínűleg az itt található fiatal üledék jelenleg is zajló kompaktiója okozza a felszín süllyedését, ami a kanyarfejlettség növekedéséhez vezetett.

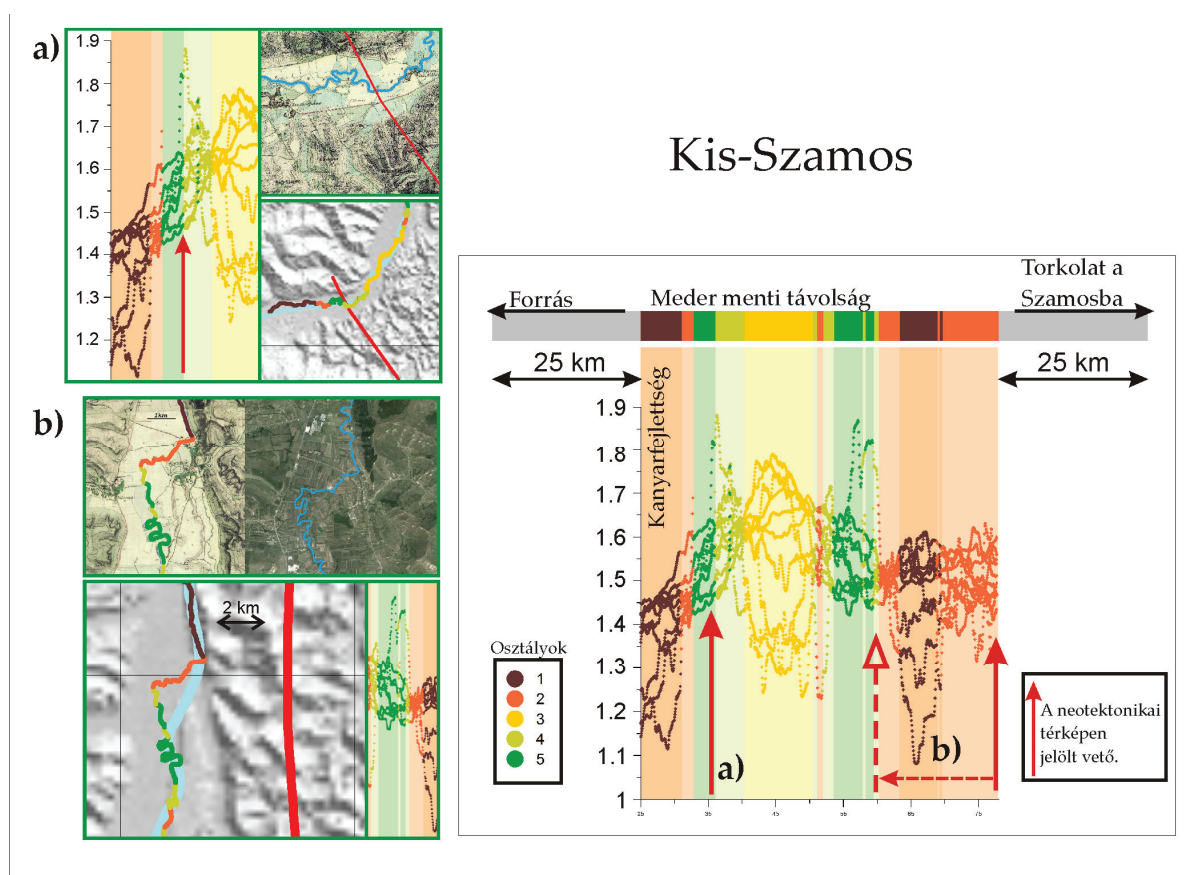


6.14. ábra. Kanyarfejlettségek és osztályok változása a Szamos mentén. a) Zsibó környékén egy átöröklött völgy hatása érzékelhető; b) A jelölt oldalelmozdulás valószínűleg vertikális komponenssel is rendelkezik; c) Szamosveresmart és a torkolat közötti nagy kanyarfejlettségeket a fiatal üledékek kompaktiójából eredő süllyedés okozhatja; d) A kvarter üledékek vastagsága a folyó mentén.

A *Kis-Szamos* esetében a kanyarfejlettség értékek 1 és 2 között változnak, de ennek ellenére itt is található két jelentős változás (6.15. ábra). Kolozsvár és Apahida között növekszik a kanyarfejlettség, és a folyó pontjai is különböző osztályokba kerülnek (6.15.a.

ábra). Néhány rövidebb szakaszon a folyó alaktípusa is változik, és több ágra szakad. Ezeket a változásokat okozhatja a neotektonikai térképen is jelölt vető.

Egy rövid szakaszon, Bonchida mellett, a folyásirány kétszer is változik, mindkét esetben merőlegesen elkanyarodik a folyó (6.15.b. ábra). Ez a változás megfigyelhető a kanyarfejlettségeken is (erősen meanderezik, majd a kanyar után kevésbé), de szembevető az osztályokon is (4-es és 5-ös osztályok, kanyar után 1 és 2). A Kis-Szamosnak ebből a viselkedéséből arra következtethetünk, hogy a neotektonikai térképen körülbelül 5 km-rel keletebbre jelölt vető valójában metszi a folyót. Ez az eltérés a neotektonikai térkép pontosságán belül van, hiszen relatív nagy horizontális hibával lehet meghatározni egy vető felszíni vetületét. A folyókkal ezt is javíthatjuk.



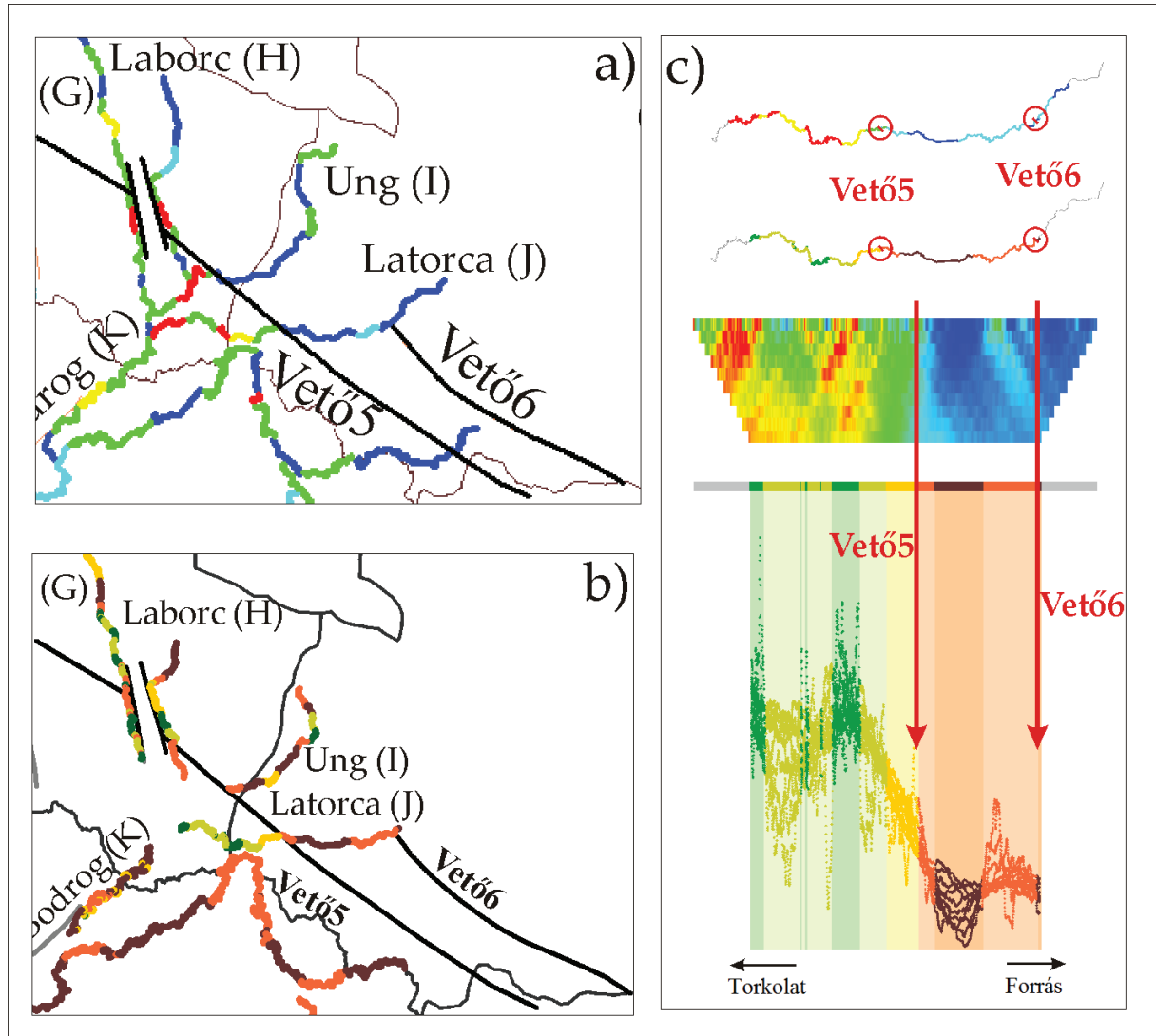
6.15. ábra. Kanyarfejlettségek és osztályok változása a Kis-Szamos mentén.

a) Kolozsvar és Apahida közötti kanyarfejlettség növekedés; b) Bonchida melletti változások

Latorca:

A Latorca nagyon jó példa a vetők mentén kialakuló kanyarfejlettség- és osztályváltozások bemutatására. Már az osztályozás is ideálisan sikerült, hiszen a nagyobb osztályokba nagyobb kanyarfejlettségű pontok kerültek (4.12. ábra). A neotektonikai térkép szerint két vető is metszi. Az egyik vetőnek (**Vető6**) épp a legszéle található itt, de a folyónak is eléggé az elején van ez a metszéspont (osztályozáskor a kezdeti 25 km-es szakaszra nem

kapunk eredményt), így épp csak néhány pont maradt a vető észak-keleti oldalán. Ennek ellenére, ezek a pontok 1-es osztályba kerültek, míg a vetőtől dél-nyugatra lévő pontok 2-esbe (6.16. ábra). **Vető5** esetén sokkal jobb a helyzet, mind a folyónak, mind a vetőnek a közepe táján található a metszéspont. A vető után, az addigi 1-2-es osztályokból 4-5-ös lesz, és a kanyarfejltségek is megnőnek átlagosan 1-gyel (1-1,5-ről 2-2,5-re; 6.16. ábra).



6.16. ábra. Kanyarfejltségek (a, c) és osztályok (b, c) változása a Latorca mentén, a folyót metsző vetők hatására. **Vető5** hatása nagyon szembetűnő. A kanyarfejltség-spektrumot (c közepe) egy kék (kicsi) és egy zöld-piros (közepes-nagy) tartományra osztja. A c alján ábrázolt grafikonon is ugyanezt láthatjuk, kicsit kvantitatívabban. Északkeleti felén kis értékek és kis osztályok, délnyugati oldalán nagy értékek és nagy osztályok találhatóak. (a: 6.7. ábra részlete; b: 6.8. ábra részlete; c: vetők nélküli, tengelyfelírtos verziója a Mellékletben)

7. Kitekintés: a Pannon-medencén kívül

Ebben a fejezetben röviden bemutatom, hogy az előbbiekben leírt, a Pannon-medencében jól működő módszert milyen eredményekkel alkalmaztam más területek folyóira. A következő 3 alfejezetben ismertetem számításaimat a Pó, Menderes, a Mississippi és a Missouri folyókra.

7.1. Pó

Az alluviális síkságon folyó Pó jó választásnak bizonyult a kanyarfejlettség számítások elvégzéséhez. Ismert folyó, a terület tektonikája is jól kutatott, alföldi területeken folyik, viszonylag kis lejtéssel és nagy vízhozammal, továbbá itt is használhattam a Második Katonai Felmérés Térképlapjait, hiszen 1818 és 1829 között Lombardia, Parma, Modena és Velence tartományokat is felmérték (4.6. ábra). Ezáltal a Pó folyó Vaccarizzától egészen a torkolatig követhető volt, mintegy 350 km hosszan (7.1. ábra).



7.1.ábra. A Pó medre a Második Katonai Felmérés térképein. 1818 és 1829 közötti állapot.

A folyószakasz digitalizálása után elkészült a kanyarfejlettség-számítás is, különböző ablakméretekkel, hogy a spektrumot is elő lehessen állítani. Jelentős kanyarfejlettség változással Piacenza és Cremona mellett találkozunk. Itt a kanyarfejlettség 2-2,5 körüli értékeket vesz fel (7.2. ábra). Piacenzánál a nagy értékeket nem a változó dőlés okozza, hanem a megváltozott alapkőzet. Ezen a helyen a folyó nem alluviális, hanem bedrock típusú. A folyó a tőle délre lévő hegy lábánál folyik, medrét nem tudja kedve szerint változtatni. Cremonánál más a helyzet (7.2. ábra). A folyó teljesen alluviális, kanyarfejlettsége nagy, Olaszország Geológiai térképén (7.2.a. ábra, Compagnoni és Galluzzo, 2004; 7.2.b. ábra, Burrato et al., 2003)

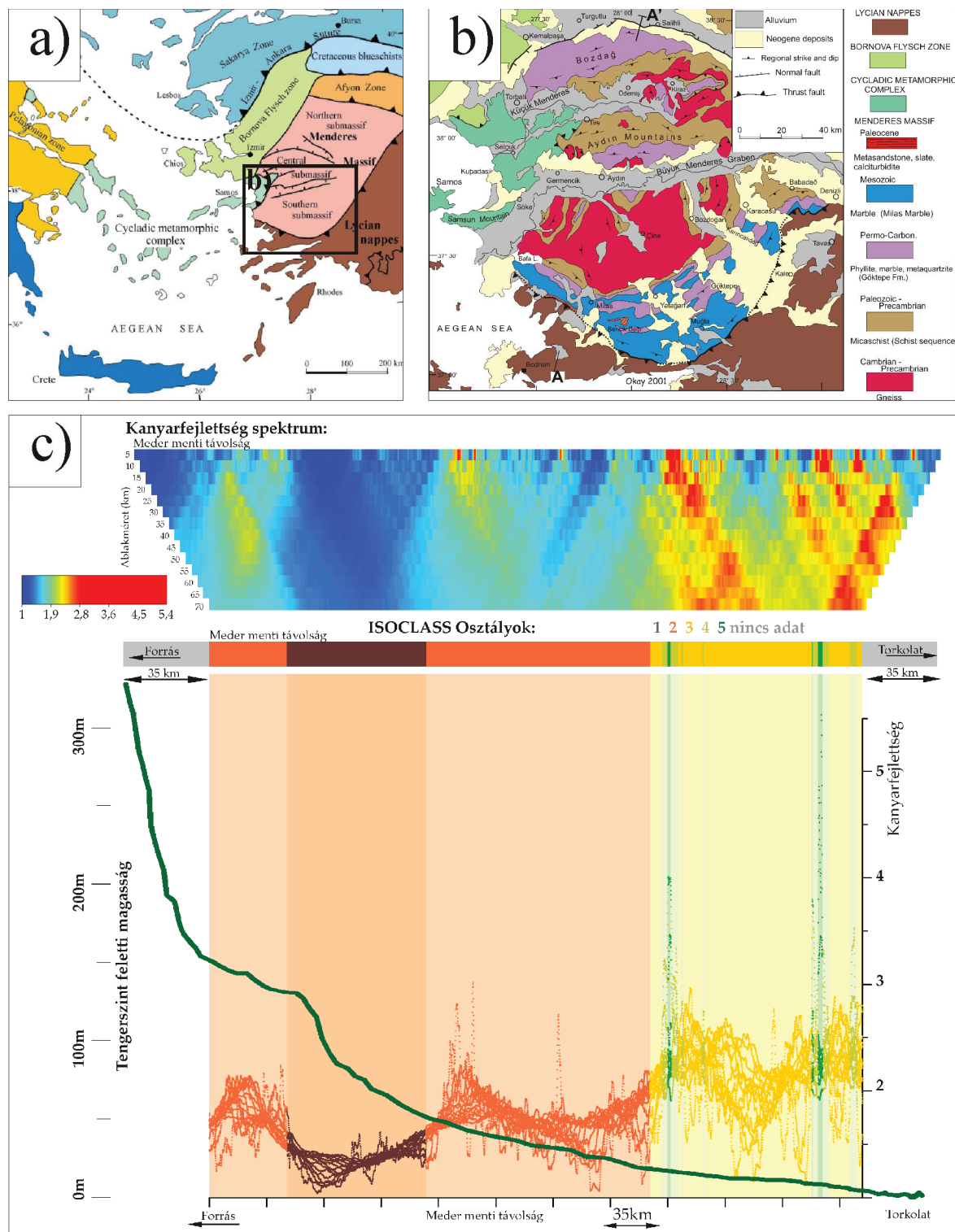
pedig még vető is található ezen a helyen. Az itt jelzett vető **a** és **b** pontokban metszi a folyót, hatására a kanyarfelettség 1,2 körülre csökken (7.2. ábra). A vető nyugati oldalán lejjebb, keleti oldalán kiemelkedettebb helyzetben vannak a blokkok. Az így lecsökkent esésre a folyó lecsökkent kanyarfelettséggel válaszol (ld. Ouchi, 2.5. ábra), de az osztályoknál is látszik a változás (7.2. ábra). Az ezt követő szakaszon leginkább az északról és délről érkező mellékfolyók, az általuk szállított víz és hordalék mennyisége alakítja a folyót. A Pót **c** és **d** pontokban metsző vető mentén szintén lecsökken a kanyarfelettség és az osztályok is változnak (7.2. ábra).

7.2. *Menderes*

A következő kiválasztott folyó a törökországi Menderes volt. Már a neve miatt is szerepelnie kell ebben a munkában, hiszen ennek kanyargós alakjáról nevezték el a meanderező folyókat. A Büyük Menderes Törökország Nyugati felén folyik, több mint 2400 méter magasságból jut el 584 km-es útja során a tengerig. Vízigyűjtőterülete 24679 km², melynek átlagos magassága 850 méter körül van.

Mivel a Habsburg Birodalom fennállása alatt idáig egyszer sem terjedt ki, Törökország területéről nem rendelkezünk Második Katonai Felmérés során készült térképekkel. Régebbi térképeket lehet találni, hiszen a mai Törökország már az Antik világnak is szerves része volt. Sajnos ezek a térképek sem használhatók kanyarfelettség-elemzéshez. Ennek legfőbb oka, a térképek pontossága. Vetületi rendszerek, méretarány, komoly térképészeti távolság- és magasság-mérések nincsenek mögötte. Mivel csak az általuk ismert világot ábrázolták, az éppen aktuális világképükkel, a térkép sok helyen torzít. Ettől függetlenül, nem kell kétségbe esni, ha folyómedret szeretnénk digitalizálni, de nem rendelkezünk az adott terület 1:10000-es méretarányú topográfiai térképeivel, a célnak megfelelnek a műholdfelvételek is. Begidsán (2011) szakdolgozatában többek között a Menderest is elemezte, szintén a Google Earth műholdképei alapján, ennek ellenére a digitalizálását saját magam is elvégeztem. A műholdképeknek csak annyi a hátránya, hogy nem lehet teljesen egyértelműen eldönteni, melyik holtág jött létre természetes lefűződéssel, és melyiket vágták át folyó-szabályozások során. Továbbá, ahol látszik, hogy a jelenlegi meder egyenes, szabályozott, ott mellette nemcsak az átvágott, hanem a korábban lefűződött kanyarokat is megtalálhatjuk, amelyek közül szintén nehéz kitalálni, melyik lehetett a folyó utolsó, természetes medre.

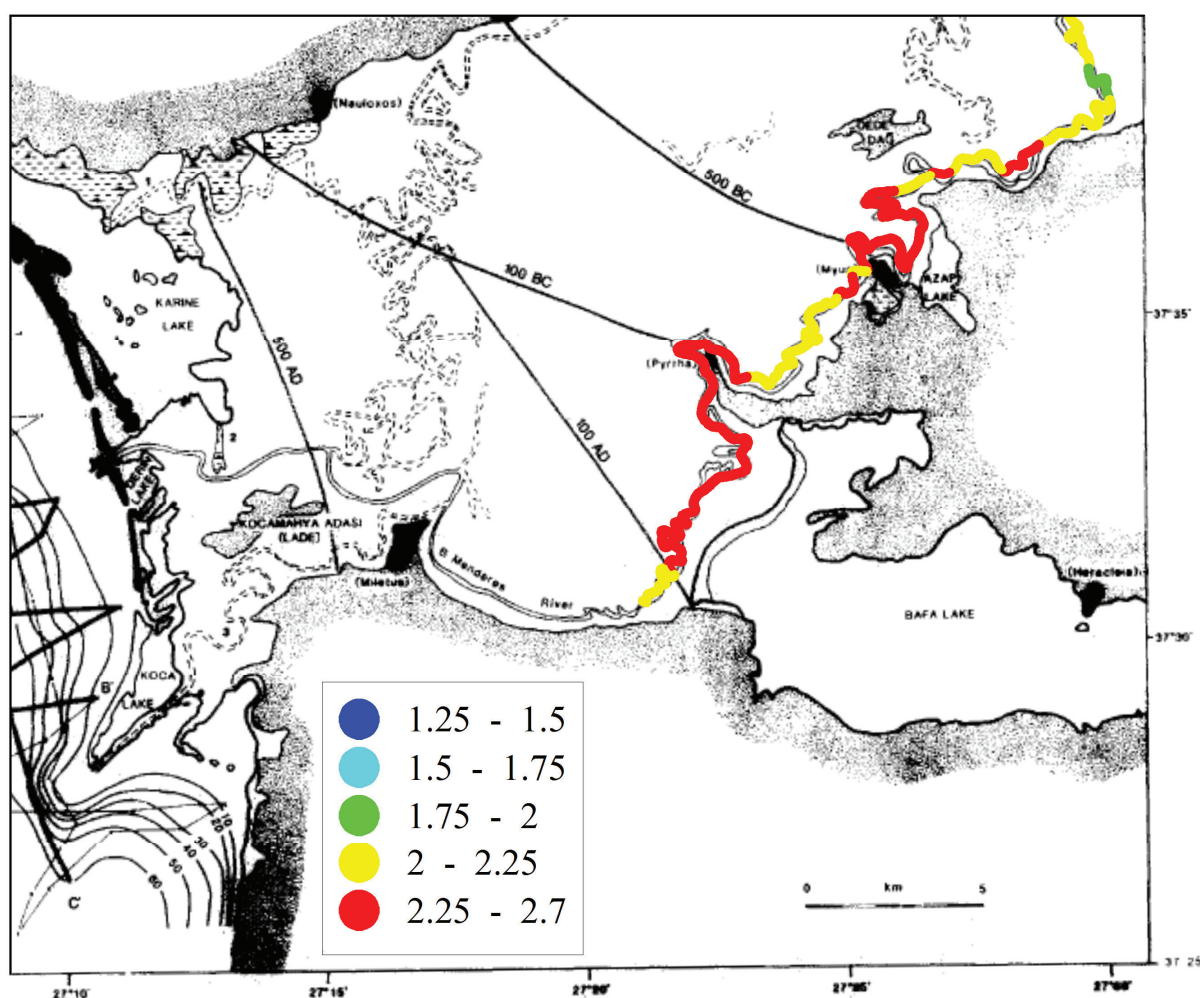
A folyó síkvidéki szakaszát mintegy 350 km hosszan digitalizáltam. A Google Earth más okból is hasznos volt, ugyanis tartalmazza a Föld domborzati modelljét is, tehát a meder tengerszint feletti magassága is megállapítható (7.3.c. ábra), amiből mederesést lehet számolni. A magasságértékek kiolvasása körülbelül 2-5 km-ként történt.



7.3. ábra. Kanyarfejltségek és osztályok változása a Menderes mentén. *a)* Az Égei-tenger környékének geológiai térképe; *b)* Törökország nyugati részének geológiai térképe (Okay, 2001); *c)* Kanyarfejltség spektrum, osztályok és a folyó hossz-szelvénye.

A vizsgált területről többféle geológiai térkép is található (7.3.a és b. ábra), amelyeken látszódik, hogy Törökország nyugati része, valamint az Égei-tenger környéke milyen blokkokból épül fel, és ezek hogy viszonyulnak egymáshoz. A Menderes Masszívum Északi-, Középső- és Déli al-masszívumokra van osztva, melyek közül a Középső normál-vetőkkel metszett. Az 7.3.a. ábrán nincs külön feltüntetve a Menderes, viszont a 7.3.b térképről látszik, hogy merre halad. Útja nagy részét a normálvetők által létrehozott Büyük Menderes Árokban teszi meg (Kazanci et al., 2009). Medre mentén alluviális üledékeket találunk (Okay, 2001).

A 7.3.c. ábrán látható a kanyarfejlettség spektrum és az osztályozás eredménye, hasonló módon, mint a Pannon-medence folyóira a mellékletben. Azzal a különbséggel, hogy itt egy sötétzöld vonallal a tengerszint feletti magasságot is feltüntettem. Ugyanis jól látszik, hogy ott jelennek meg a legalacsonyabb kanyarfejlettségek, ahol a görbe konkávva válik.



7.4. ábra. Kanyarfejlettség értékek változása a Büyük Menderes medre mentén, a torkolathoz közeli szakaszon, 50 km-es ablakmérettel. Aksu et al. (1987) ábrájának részletén. A nagy kanyarfejlettségű szakaszok az aljzat változását követik, a meder itt nem szabadon meanderező.

A bemutatott geológiai térképeken nincsenek olyan vetők feltüntetve, amelyek metszenék a folyót. A torkolathoz közeledve nagyobb kanyarfejlettség értékek jelennek meg.

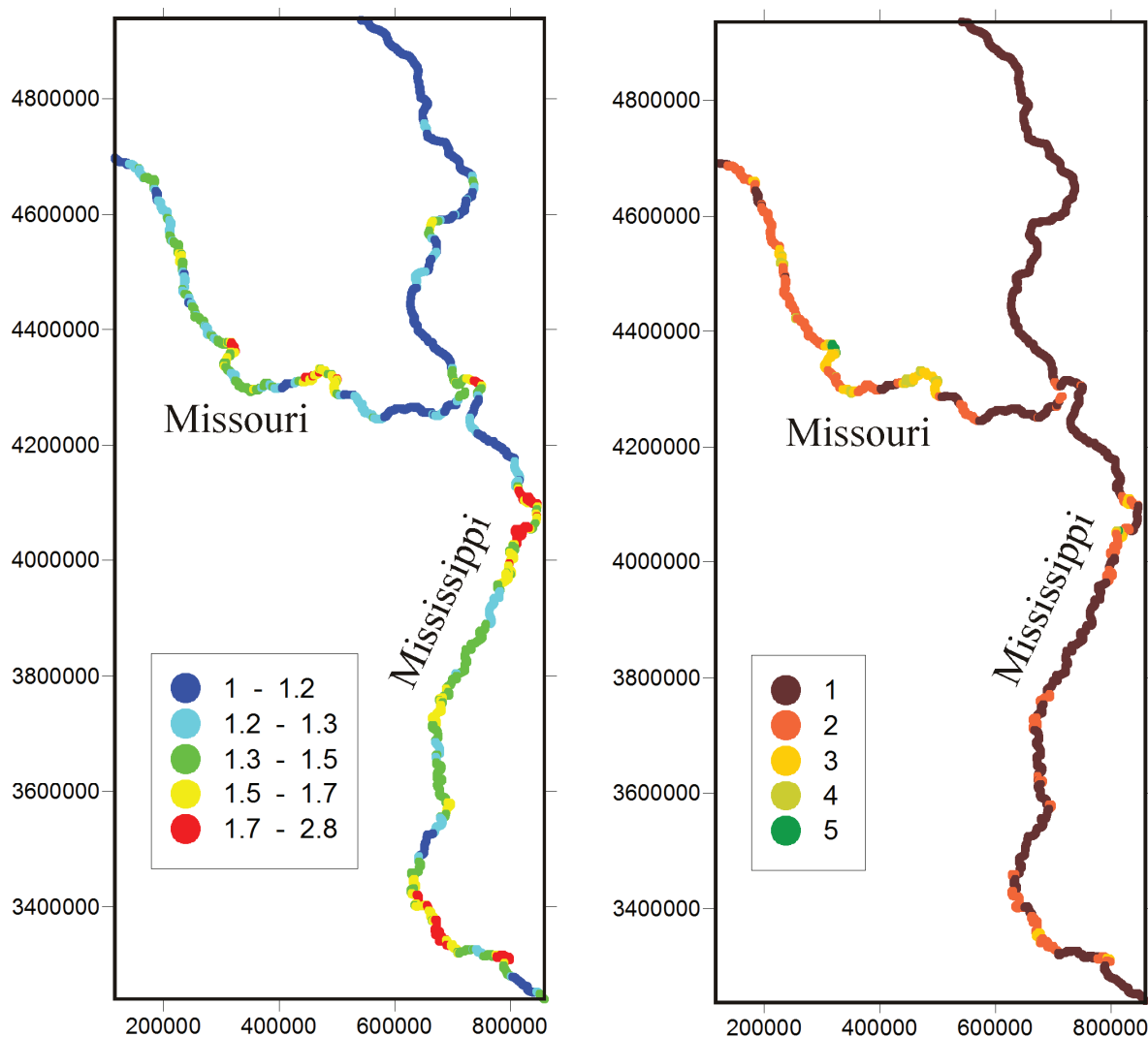
Aksu et al. (1987) vizsgálták, hogyan változott a folyó deltájának partvonala i.e. 500 és i.sz. 500 között. Térképükön látszik, hogy a Menderes többször is változtatta medrét. Ezen a szakaszon jelenlegi medre a Menderes-árkot délről határoló, kvarternél idősebb kőzetek mentén található. Itt nagy kanyarfejltségeket találunk, de ezt valószínűleg az okozza, hogy az aljzat egyenetlenségeit követi, valószínűleg nem tud szabadon meanderezni (7.4. ábra).

7.3. Mississippi és Missouri

A Mississippi és a Missouri esetében is a Google Earth műholdképei alapján történt a medrek digitalizálása, valamint a feldolgozás menete is hasonló volt. Mivel ezek a folyók jóval hosszabbak, mint a Menderes, a medrek mentén 5 helyett 25-50 km-ként olvastam le a tengerszint feletti magasság értékeit. A Google Earth-be beépített domborzati modell pontossága nem mindenütt felel meg a vizsgálat igényeinek: a meder mentén végighaladva néhol változatos magasságértékeket lehet leolvasni. Többször előfordult, hogy a meder mentén lejjebb haladva magasabb tengerszint feletti magasság értékeket lehetett leolvasni, mint a forráshoz közelebb. Ezek az értékek akár pontonként is változhattak, és nagyon gyakran a meder menti domborzatviszonyok köszöntek vissza. A módszer másik hátránya, hogy valójában a mederfenék magasságviszonyai helyett a vízszint tengerszint feletti magasságát kapjuk meg (ideális esetben).

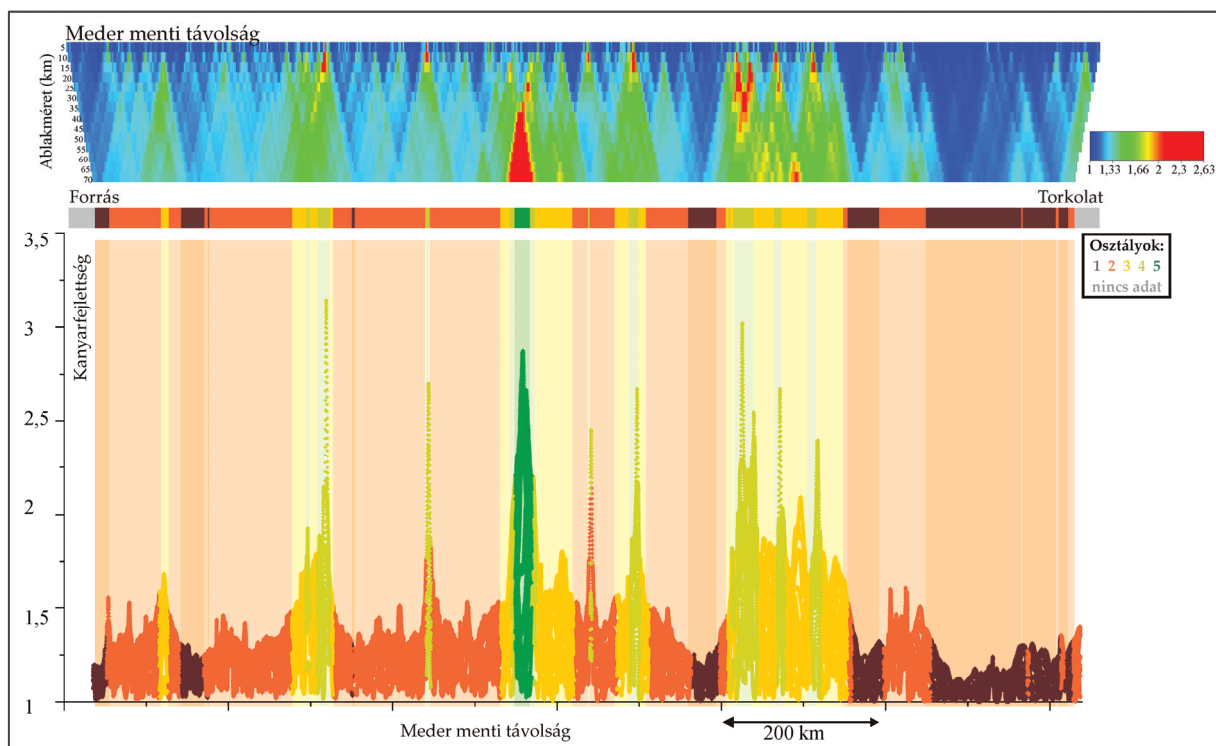
A Mississippi több mint 2800 km-es szakaszát digitalizáltam, az Egyesült Államok területén keresztül, észak-déli irányban. A terület morfológiájából következően, nem találkozunk nagyon nagy szintkülönbség változásokkal. A vizsgált szakasz kezdetén 212 m-es tengerszint feletti magasságról indult a folyó, tehát átlagos esése elég kicsi, kilométerenként 7 cm. (A Menderesnek ennyi magasságkülönbség legyőzésére alig több mint 300 km-re volt szüksége, átlagos esése majdnem tízszerese). Mellékfolyója, a Missouri, a digitalizált 1271 km során átlagosan 18,4 cm-t esik kilométerenként. A korábbiakban bemutatott feldolgozási lépéseket ezekre a folyókra is elvégeztem, így létrejött a spektrum és az osztályok is. Az eredményeket több ábrán mutatom be. A 7.5. ábrán a medrek menti kanyarfejltség és osztályváltozások láthatók. A Mississippi esetén a 80km-es, míg a Missourinál az 50 km-es ablakmérettel kapott kanyarfejltségeket ábrázoltam, a szokásos színekkel. Az osztályozást a Mississippi mentén 20-80 km-es, a Missouri mentén 5-70 km-es ablakméretekre végeztem el.

A spektrumokat, valamint az osztályokat a Pó és a Menderes mentén már bemutatott módon is ábrázoltam (7.6. ábra – Missouri; 7.7. ábra – Mississippi).

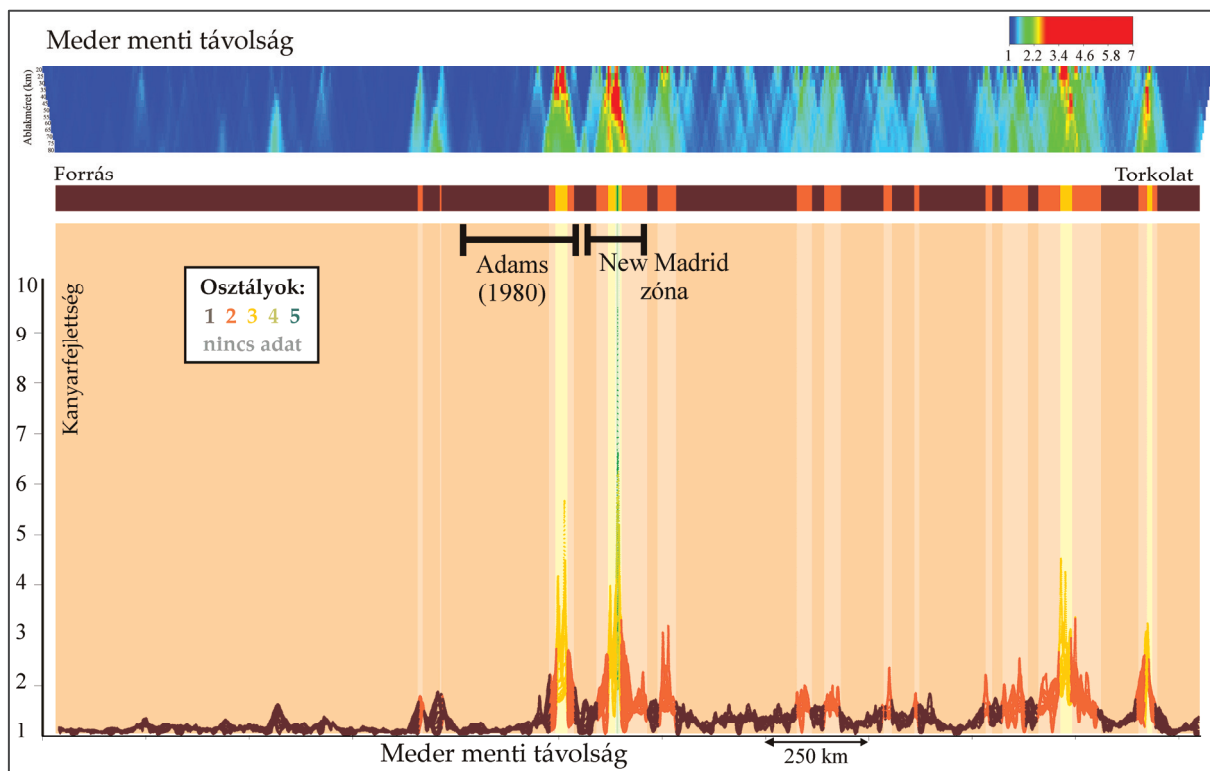


7.5. ábra. Kanyarfejlettség változások (Mississippi 80 km-es, a Missouri 50 km-es ablakmérettel) és ISOCLASS osztályok a Mississippi és Missouri folyók mentén (UTM15 koordináta rendszerben).

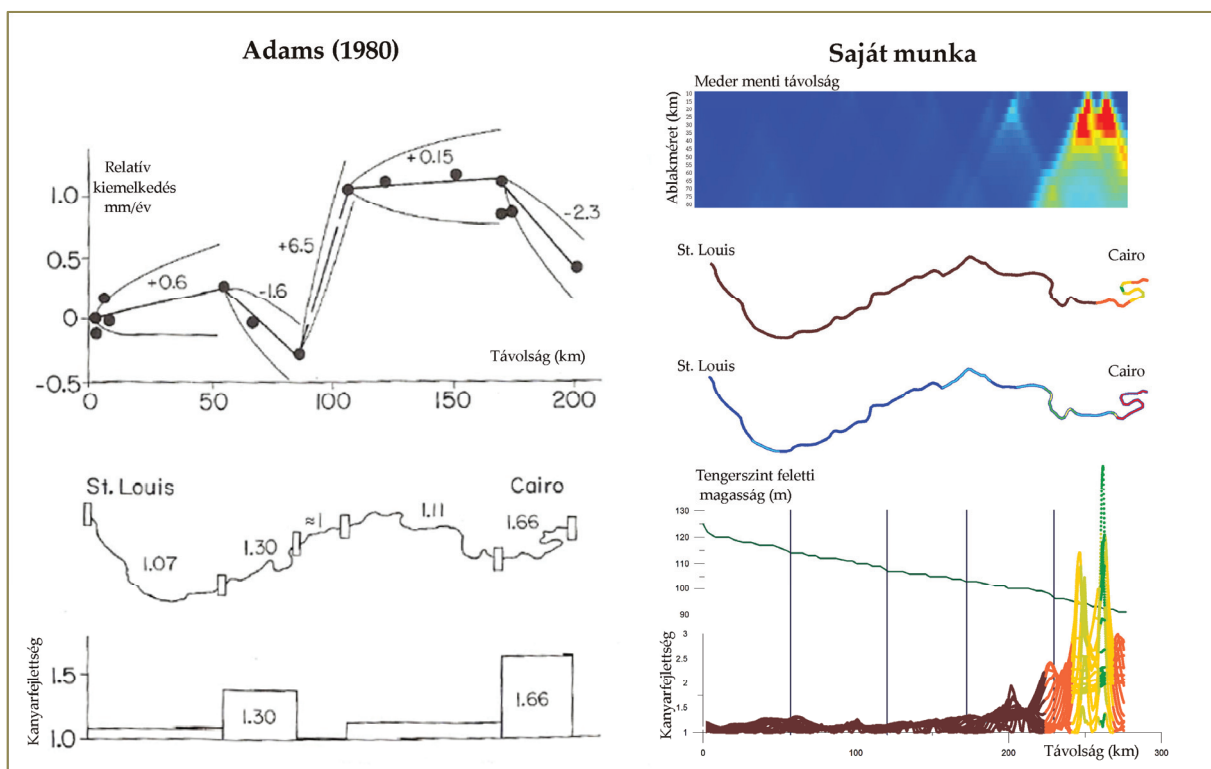
Részletesebb vizsgálatra a Mississippi *St. Louis* és *Cairo* közti szakaszát választottam ki, mivel Adams (1980) is ezt a szakaszt elemzi munkájában (2.6. ábra). Így lehetőség nyílik az alkalmazott módszerek összehasonlítására is (7.8. ábra). Ehhez elvégeztem az osztályozást külön csak erre a szakaszra, 10-80 km-es ablakméretekkel. A kanyarfejlettség-spektrumot is ezekkel az ablakméretekkel ábrázoltam. Az első szembetűnő különbség rögtön a kanyarfejlettség értékekben jelentkezik. Ennek oka leginkább a kanyarfejlettség számítás módjában keresendő. Adams 30-60 km-es szakaszokra számolt egy értéket, míg a kanyarfejlettség spektrummal 50 méterenként kaptam kanyarfejlettség értékeket, különböző ablakméretekre. Ennek ellenére hasonló tendencia figyelhető meg az eredményekben.



7.6. ábra. Kanyarfejltség-spektrum (5-70 km-es ablakmérettel) és ISOCLASS osztályok a Missouri mentén.



7.7. ábra. Kanyarfejltség-spektrum (20-80 km-es ablakmérettel) és ISOCLASS osztályok a Mississippi mentén.



7.8. ábra. A kanyarfejltségek és az *ISOCLASS* osztályok változásai a Mississippi St.Louis és Cairo közötti szakaszán. A baloldalon Adams (1980) eredményeit, míg jobboldalt a sajátjaimat ábrázoltam. Az osztályozást csak erre a szakaszra ismét elvégeztem, 10-80 km-es ablakméretekre, és a szokott színekkel ábrázoltam.

A 7.7. ábrán az Adams által vizsgált területen kívül megjelöltem egy másik szakaszt is. Itt vannak a legnagyobb kanyarfejltségek, és az 5-ös osztályba sorolt pontok is. Ezen a területen található a New Madrid szeizmikus zóna és a Reelfoot rift (pl. Csontos et al., 2008; Guccione 2005; Holbrook et al., 2006). Az itteni vetőrendszer aktivitását, melyet számos földrengés is igazol, a folyó viselkedése is indikálja.

8. Konklúziók, tézisek

Munkám során a Pannon-medence meanderező folyóit elemeztem, természetes, szabályozás előtti állapotukban, amihez a Második Katonai Felmérés térképeit használtam. Az általam digitalizált folyóknak kiszámoltam a kanyarfejltségeit, különböző ablakméretekkel, az eredményeket pedig folyódinamikai és neotektonikai vizsgálatokhoz használtam fel.

Folyódinamikai vizsgálatok

A munka alapját Timár (2003) munkája adta, amelyben létrehoz egy pszeudo3D-s grafikont. Ezen kombinálja a mederkitöltő-vízhozam – mederlejtés – alaktípus grafikont (Leopold és Wolman, 1957; Ackers és Charlton, 1971; Miall, 1977) Schumm és Khan (1972) modell-kádakra felállított esés – kanyarfejltség összefüggésével.

Timár (2003) grafikonja azt sugallja, ez minden vízhozamra igaz lehet. Mivel az általam vizsgált folyók változatos vízhozamúak és esésűek, így igyekeztem a lehető legtöbb ponttal kitölteni a grafikont, és eredményül létrehozni egy absztrakt felületet, amely a Pannon-medence folyóinak viselkedését reprezentálja. Az elérhető adatrendszerek a legtöbb esetben átlagos vízhozamot tartalmaztak, így első lépésként ezeket mederkitöltő vízhozammá számítottam át. Az erre létrehozott képletek többsége (Williams, 1978) a folyó keresztmetszetét és egyéb geometriai paramétereit veszi figyelembe, amelyekkel jelenleg nem rendelkezem. Mivel olyan képletet nem találtam, ami csak az átlagosból mederkitöltő vízhozamot generál, kerestem egy olyan adatrendszert (van den Berg, 1995), amelyben mind az átlagos, mind a mederkitöltő vízhozam fel volt tüntetve, és az ott szereplő adatpárookra (logaritmikus skálán) egyenest illesztettem. Ennek a képletét használtam a mederkitöltő vízhozamok létrehozására. A pontok illeszkedése nem volt tökéletes, hiszen természetes folyókról van szó, ahol rengeteg tényező befolyásolja a paramétereket, viszont a trend, amit az illesztett egyenes is mutatott, jól látszott rajtuk.

Módosítást igényeltek az esés-értékek is. Azokat a felméréseket, ahonnan az adatokat kigyűjtöttem, már a szabályozások után végezték, így a csökkent folyóhossz miatti megnövekedett esés-értékeket tartalmazták. A korrekciót azonban gyakran folyószakaszonként is el lehetett végezni. Azokon a helyeken, ahol rendelkezésre álltak városnevek, folyamkilométerekkel (Viczián, 1905), a koordináták alapján visszakereshető volt két pont között a

szabályozatlan távolság is, így kiszámolhatóvá vált a szabályozás előtti esés. Ahol ilyen adatok nem álltak rendelkezésre, ott a szabályozások leírásait használtam a korrekcióhoz.

A kapott pontokra többféle interpolációs eljárást is kipróbáltam, hogy létrehozzam a felületet. Mivel azonban a folyók viselkedését a vizsgáltakon kívül további paraméterek, elsősorban a hordalék jellemzők is befolyásolhatják, ezért végül egy burkológörbét illesztettem a pontokra, lokális polinom-illesztéssel.

Végezetül, mintegy ellenőrzésként visszakerestem, hogy azok a folyószakaszok, amelyek a szervezetlenül meanderező/vándorló kategóriába esnek, milyen alaktípussal szerepelnek a Felmérés térképein. Az említett szakaszok alakja, a várakozásnak megfelelően, átmenetet képzett a meanderező és a fonatos típus között.

Eredményeim igazolják, hogy az esés változása és a kanyarfejltség között korábban sejtett, illetve kis vízhozamokra laboratóriumi körülmények között bizonyított összefüggés valóban fennáll, így egy újabb bizonyítékot kaptam arra, hogy a kanyarfejltség-számítások használhatók a vertikális felszínmozgások létének igazolására.

Neotektonikai vizsgálatok

A létrehozott felülettel részben igazoltam azt is, hogy az esés megváltozása hat a folyó alakjára. Ezt az állítást többen is vizsgálták már előttem, modell-kádakon és természetes folyókon is. A neotektonikai vizsgálatokhoz használt módszeremben az az újdonság, hogy kanyarfejltség-számításkor mozgó ablakkal és több ablakmérettel számoltam. Az általában 10 különböző ablakmérettel kiszámolt értékeket ezután egy spektrum-szerű ábrán is megjelenítettem, így még látványosabbá váltak az értékek változásai. Természetesen annak megítélése, hogy melyik változás szignifikáns eléggé, nagyban függött a színskálától és a feldolgozó személytől is. Az elért maximum kanyarfejltségek folyónként változhattak, így nem lehetett konkrét értékeket megadni a kis, közepes és nagy kanyarfejltség-tartományok határainak.

Egy osztályozási módszer bevezetésével próbáltam objektívebbé tenni az értelmezést. A több ablakmérettel kiszámolt kanyarfejltségeket többcsatornás képként értelmeztem, és ezekre végeztem el egy irányítatlan osztályozást. Végeredményül a pontokat 5 osztályba soroltam. Az osztályok számát önkényesen választottam meg, bár ennek logikus okai is voltak: az 5 osztály kellően sok ahhoz, hogy ne csak a kiugró változások különüljenek el,

ugyanakkor ez a szám még kezelhető. Várakozásom szerint az osztályozott eredmények kapcsolatban állnak a kanyarfejlettségekkel: nagyobb kanyarfejlettségek azonos osztályba kerülnek. Ez általában így is történt, de egyéb tényezők is befolyásolták az osztályozást, például az értékek ablakméretenkénti változása.

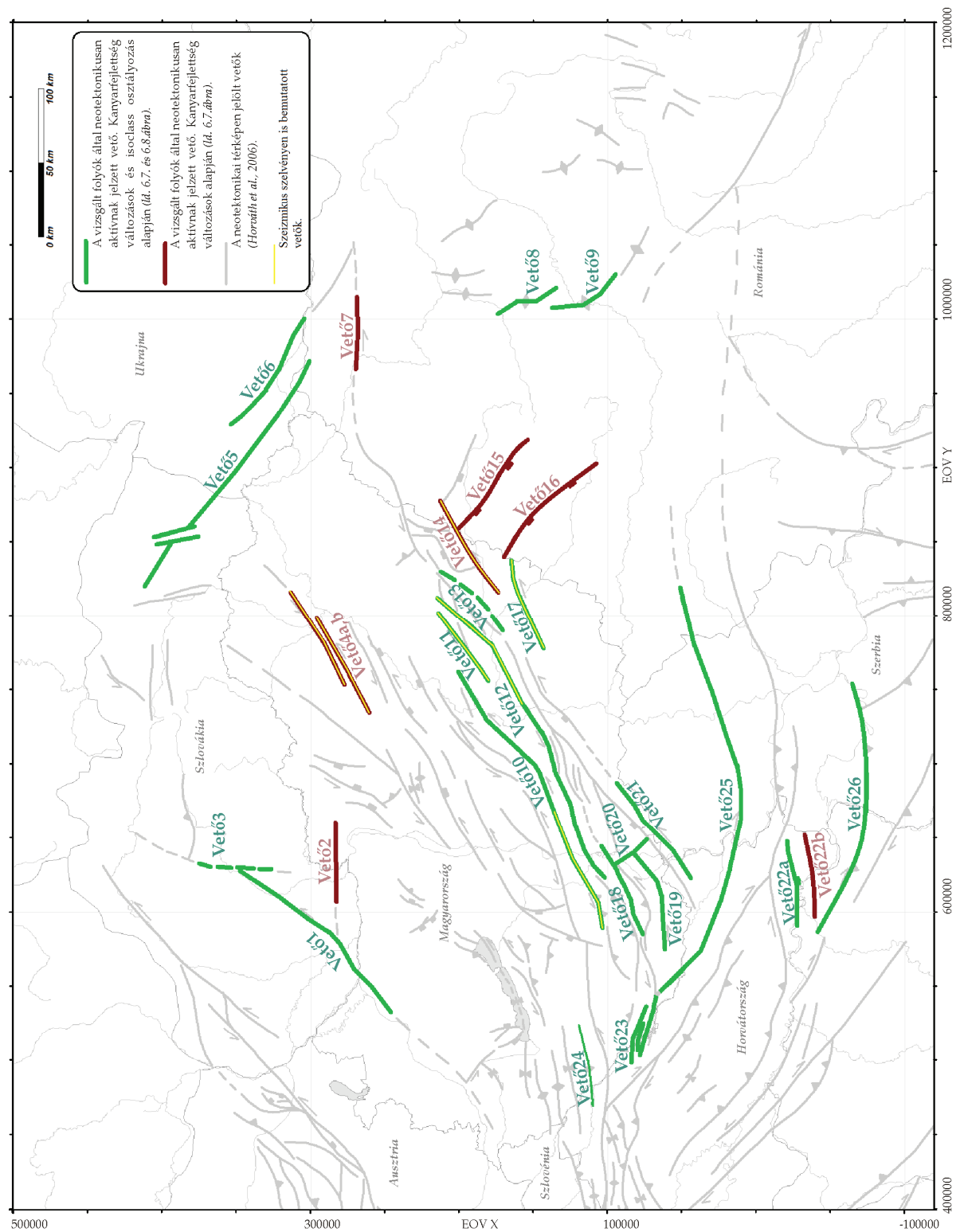
Következő lépésként megvizsgáltam, hogy ismert aktív vetőkre hogyan működik a módszer. Ezt nem csak a Pannon-medence folyóira végeztem el: bemutattam a Pó, Menderes, Missouri és Mississippi mentén végzett számításaimat is. A Pannon-medencében a neotektonikai térképen (Horváth et al., 2006) szereplő vetőket vettem alapul, több esetben szeizmikus szelvényeken is vizsgáltam a vető jelenlétét.

A vizsgált 29 folyó közül 21 keresztezett olyan vetőt, amely a neotektonikai térképen is ábrázolva volt: 38 metszéspontban összesen 28 vető neotektonikus aktivitását igazolta a kanyarfejletség változás. Az osztályozás eredményeként 11 folyó 23 metszéspontban összesen 16 vető neotektonikus aktivitását igazolta (8.1. ábra). Ezeknek a valódi geológiai értelmezését az esettanulmányokban adom meg.

A két módszer közötti eltérést az okozza, hogy sok esetben a vető pont az utolsó 25 km-es szakaszán metszette a folyót, ahova a módszer korlátaiból adódóan nem kaptam osztályozási eredményeket.

Tovább vizsgálva a folyók menti kanyarfejlettségek változását, az tapasztalható, hogy az előbb említett vetők mentén található változásokon kívül is előfordulnak jelentős kanyarfejletség-változások. Ennek több oka is lehet, hiszen nemcsak vető okozhat vertikális elmozdulást, és nemcsak a vertikális elmozdulás okozhat kanyarfejletség változást.

A kisebb kanyarfejletség-változások többsége a mellékfolyók hatására megváltozott víz- és hordalékhozammal van összefüggésben. Nem közvetlen tektonikus eredetű vertikális felszínmozgásokat okozhat például a fiatal üledékek kompakciója, melynek következtében a felszínsüllyedés sebessége változhat. Eredményeimet Joó (1992) és Franyó (1992) ismételt szintezésekből létrehozott felszínmozgás térképeivel, valamint Horváth (1985) kvarter üledékvastagság térképével hasonlítottam össze.



8.1. ábra. A vizsgált folyók által neotektonikusan aktívnak jelzett vetők a Pannon-medencében. Zölddel jelezve, amelyek a folyók kanyarfejltség-változásai és az Isoclass osztályozás alapján is aktívnak tekinthetők. A bordó színnel jelzett vetők mentén csak a kanyarfejltség változott. Sárgával megjelöltem azokat a vetőket, melyeket jelen dolgozatban szeizmikus szelvényen is bemutatam. (EOV koordináta rendszerben).

Esettanulmányok

Dolgozatom végén a kanyarfejlettség-változások és tektonika kapcsolatára több eset-tanulmányt is bemutatok. A Körösök mentén érdemes megemlíteni a Berekböszörmény melletti szövedékes folyószakaszt, ahol a vető hatására kanyarfejlettség helyett a folyó alak-típusa változott meg. A sok, egymáshoz elég közeli folyó és vető miatt a Körösök vidéke megfelelő terület volt arra, hogy egy látványos blokkmodellt készítek, annak érzékeltetésére, melyik blokk merre mozdulhatott el, a folyók kanyarfejlettségeinek változásai alapján.

A Latorcát azért érdemes kiemelni a folyók közül, mert egy teljesen ideális esetet mutat be. A kis kanyarfejlettségek a vető hatására megnőnek, és az 1-2-es osztályokat 3-5-ös osztályok váltják fel. A változás elég hirtelen következik be, és egybeesik azzal a hellyel, ahol a neotektonikai térkép a vetőt jelzi. A Szamos ilyen szempontból pont a Latorca ellentéte, hiszen a változások nem mindenhol tektonikus eredetűek. Zsibó környékén egy átöröklött völgy hatására keletkeztek a nagy kanyarfejlettségek, míg Szamosveresmarttól a torkolatig az üledékek vastagsága nő meg hirtelen. A vastagabb üledékek kompakciója nagyobb mértékű süllyedést okozhat, ezáltal növekszik a terület esése, s így a kanyarfejlettség is. A Kis-Szamos mentén olyan hely is található, ahol a neotektonikai térképet lehet pontosítani a folyó változásaival. A vető körülbelül a folyótól 5 km-re van berajzolva, ami ekkora felbontásnál még a térkép hibahatárán belül van, emellett egy vető felszíni metszéspontjának meghatározása is relatív nagy horizontális hibával terhelt.

A Pannon-medencét elhagyva, a Pó és a Menderes mentén szintén található bevágódott szakasz, de nemcsak ez okoz jelentős kanyarfejlettség-változást. A Pó mentén több vető is található, ami metszi a folyót, és a kanyarfejlettség minden esetben változik. Látható még a hegyvidéki területekről a Pó-síkságra érkező mellékfolyók hatására megnövekedett víz- és hordalékhozam következtében kialakult kanyarfejlettség-változás is. Ez megfigyelhető a Menderesnél is.

A Mississippi és Missouri folyók közül, annak ellenére, hogy mindkét folyóra készítettem kanyarfejlettség-spektrumot, és végeztem az osztályozást, csak két rövid szakaszt vizsgáltam részletesebben, mindkettőt a Mississippi mentén, egymáshoz elég közel. Az első szakasz az Adams (1980) munkájában is vizsgált terület volt (St. Louis és Cairo között), hogy az Adams és általam használt módszereket összehasonlíthassam. A másik terület a New Madrid szeizmikus zóna volt, ahol számos jelentős földrengés is alátámasztja egy vetőrendszer létét. A folyó viselkedése itt is igazolja az aktív tektonika jelenlétét: ezen a szakaszon alakult ki a legnagyobb kanyarfejlettség, és az 5-ös osztály is ide esik.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni az elmúlt években nyújtott segítséget, támogatást, biztatást és türelmet családomnak, barátaimnak, tanárainak és kollégáimnak.

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, Timár Gábornak, aki már a szakdolgozatom készítésekor megismertetett a folyódinamikával, amit a lakóhelyemhez közeli kutatási terület kijelölésével még inkább megkedveltetett velem. Köszönöm a kutatási munka során nyújtott segítségét, valamint újabb és újabb kutatási ötleteit.

Köszönöm a gondolatébresztő, illetve lelkesítő beszélgetéseket Székely Balázsnak, Horváth Ferencnek, Lenkey Lászlónak, Józsa Jánosnak (BME), Baranya Sándornak (BME), Nicolas Pinter-nek (South Illinois Univ.), Marius Budileanu-nak (Univ. of Bucarest), Kovács Gábornak, Berec Bélának, Pethe Mihálynak, Mészáros Jánosnak, Barta Veronikának, Bakai Juditnak, Molnár Gábornak, Dombrádi Endrének és Zámolyi Andrásnak.

Köszönettel tartozom az ELTE Geofizikai és Űrtudományi tanszék oktatóinak, dolgozóinak és doktoranduszainak is: Bada Gábor, Balázs László, Domján Ádám, †Dövényi Péter, Drahos Dezső, Farkas Róbert, Ferencz Csaba, Galsa Attila, Győri Erzsébet, Habár Rita, Herein Mátyás, Kis Károly, Lipovics Tamás, Márton Péter, Monostori Miklósné, Pacsirszky Éva, Pusztai Sándor, Raáb Donát, Raveloson Andrea, Surányi Gergely, Szabó-Balogh Ágnes, Szanyi Gyöngyvér, Tóth Tamás, Visnovitz Ferenc.

Köszönöm a konferenciákon kapott kritikákat és hozzászólásokat, valamint cikkeink bírálóinak megjegyzéseit, melyeket igyekeztem megfogadni.

A kutatások elvégzését az OTKA-NK83400 (SourceSink Hungary) és a TÁMOP 4.2.1./B-09/1/KMR-2010-0003 pályázatok is segítették.

- Ackers, P. (1982): Meandering Channels and the Influence of Bed Material. Gavel Bed Rivers. Fluvial Processes, Engineering and Management. Szerkesztette: R. D. Hey, J.C. Bathurst, és C.R. Thorne. John Wiley & Sons Ltd. pp 389-414.
- Ackers, P., Charlton, F. G. (1970): Meander geometry arising from varying flows. Journal of Hydrology, 11. 230-252.
- Ackers, P., Charlton, F. G. (1971): The slope and resistance of small meandering channels. Inst. Civil Engineers Proc. Supp. XV, Paper 73625.
- Adams (1980): Active tilting of the United States midcontinent: geodetic and geomorphic evidence. Geology 8, 442-446.
- Aksu, A. E., Piper, D. J. W., Konuk, T. (1987): Quaternary growth patterns of Büyük Menderes and Küçük Menderes deltas, western Turkey. Sedimentary Geology, 52 (1987) 227-250
- Bada, G., Horváth, F., Dövényi, P., Szafián, P., Windhoffer, G., Cloetingh, S. (2007): Present-day stress field and tectonic inversion in the Pannonian basin. Global and Planetary Change 58, 165–180.
- Begidsán A. (2011): Kanyarfejltség elemzés és aktív tektonika a Google Earth műholdképei alapján. BSc. szakdolgozat. ELTE, Budapest
- Blanka V. (2010): Kanyarulatfejlődés dinamikájának vizsgálata természeti és antropogén hatások tükrében. Doktori (PhD) értekezés. Szegedi Tudományegyetem. 141 o
- Bray, D. I. (1972): Generalized regime-type analysis of Alberta rivers, Ph.D. thesis, Univ. of Alta., Edmonton,
- Bulla B. (1964): Magyarország természeti földrajza. Tankönyvkiadó, Bp., 424 o.
- Burrato, P., Ciucci, F., Valensise, G. (2003): An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: evidence for active blind thrust faulting Annals of Geophysics, 46/5,
- Carson, M.A. (1984): The meandering-braided river threshold: a reappraisal. Journal of Hydrology, 73, 315-334.
- Compagnoni, B., Galluzzo, F. (2004): Geological map of Italy. 1:1 250 000 Scale. APAT, Dipartimento Difesa del Suolo

- Cserkész-Nagy, Á., Thamó-Bozsó, E., Tóth, T., Sztanó, O. (2012): Reconstruction of a Pleistocene meandering river in East Hungary by VHR seismic images, and its climatic implications. *Geomorphology* 153–154 (2012) 205–218
- Csontos, L., Nagymarosi, A., Horváth, F., Kovač, M. (1992): Tertiary evolution of the Intra-Carpathian area: a model. In: Ziegler, P. A. (ed.): *Geodynamics of Rifting*, Vol. 1. Case History Studies on Rifts: Europe and Asia. *Tectonophysics* 208, 221-241.
- Csontos, R., Van Arsdale, R., Cox, R., Waldron, B. (2008): Reelfoot rift and its impact on Quaternary deformation in the central Mississippi River valley. *Geosphere* 4/1, 145-158
- Dombrádi, E., Timár, G., Bada, G., Cloetingh S., Horváth F. (2007): Fractal dimension estimations of drainage network in the Carpathian–Pannonian system. *Global and Planetary Change* 58 (2007) 197–213
- Duda, R. O., Hart, P. E. (1973): *Pattern classification and scene analysis*. New York, John Wiley and Sons. 482 p., ISBN 0471223611
- Dury, G. H. (1976): Discharge prediction, present and former, from channel dimensions. *J. Hydrol.* **30**: 219-245.
- Emmett, W. W. (1972): The hydraulic geometry of some Alaskan streams south of the Yukon River, open file report, 102 pp., U.S. Geol. Surv., Anchorage, Alaska,
- Ferguson, R.I. (1987): Hydraulic and sedimentary controls of river pattern. In *River channels: environment and process*, K.S. Richards [Ed.]. Oxford: Blackwell, 129-158.
- Franyó F. (1992): Magyarország negyedidőszaki üledékeinek vastagságtérképe (Thickness map of Quaternary sediments in Hungary). Map, scale 1:500.000, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- Furbish, D.J., 1991. Spatial autoregressive structure in meander evolution. *Geological Society of America Bulletin* 103, 1576–1589.
- Gábris, Gy., Nádor, A. (2007): Long-term fluvial archives in Hungary: response of the Danube and Tisza rivers to tectonic movements and climatic changes during the Quaternary: a review and new synthesis. *Quat. Sci. Rev.* 26, 2758-2782
- Guccione, M. J. (2005): Late Pleistocene and Holocene paleoseismology of an intraplate seismic zone in a large alluvial valley, the New Madrid seismic zone, Central USA. *Tectonophysics* 408 (2005) 237– 264
- Harvey, A. M. (1969): Channel capacity and the adjustment of streams to hydrologic regime, *J. Hydrol.*, 8, 82-98, 1969.
- Henderson, F. M. (1961): Stability of alluvial channels. *J. Hydraul. Div. Amer. Soc. Civil Eng.*, 87, 109-138,

- Hickin, E. J. (1968): Channel morphology, bankfull stage, and bankfull discharge of streams near Sydney, Aust. J. Sci., 30(7), 274-275,
- Hofstätter, E. (1989): Beiträge zur Geschichte der österreichischen Landesaufnahmen, I. Teil, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien, 196 pp.
- Holbrook, J., Schumm, S. A. (1999): Geomorphic and sedimentary response of rivers to tectonic deformation: a brief review and critique of a tool for recognizing subtle epeirogenic deformation in modern and ancient settings, Tectonophysics, 305, 287-306.
- Holbrook, J., Autin, W. J., Rittenour, T. M., Marshak, S., Goble, R. J. (2006): Stratigraphic evidence for millennial-scale temporal clustering of earthquakes on a continental-interior fault: Holocene Mississippi River floodplain deposits, New Madrid seismic zone, USA. Tectonophysics 420 (2006) 431–454
- Horváth, F., Cloetingh, S., A. P. L. (1996): Stress-induced late-stage subsidence anomalies in the Pannonian basin. In: Cloetingh, S. A. P. L., Ben Avraham, Z., Sassi, W., Horváth, F. (eds.): Dynamics of extensional basins and inversion tectonics. Tectonophysics 266, 287-300.
- Horváth, F., Bada, G., Windhoffer, G., Csontos, L., Dombrádi, E., Dövényi, P., Fodor, L., Grenerczy, Gy., Síkhgyi, F., Szafián, P., Székely, B., Timár, G., Tóth, L., Tóth, T., (2006): A Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza: Euro-konform térképsorozat és magyarázó. Magyar Geofizika 47(4), 133-137.
- Horváth, F. (1985): Thickness of Neogene-Quaternary basin fill, MÁFI, Budapest
- Ihrig D., Károlyi Zs., Károlyi Z., Vázsonyi Á., eds., 1973. A magyar vízszabályozás története. Országos Vízügyi Hivatal (OVH)-Vízügyi Dokumentációs és Tájékoztató Iroda (Vizdok), Budapest., 398 o.
- Jankó, A. (2001): A második katonai felmérés. Hadtörténeti Közlemények 114, 103-129.
- Jankó, A. (2007): Magyarország katonai felmérései, 1763-1950. Argumentum Kiadó, Budapest, 196 p.
- Jankovich B. D., Erdmann Gy. (1991): Békéscsaba története, 1. kötet, A kezdetektől 1848-ig. Békéscsaba Megyei Jogú Város kiadásában, Békéscsaba, 860 o.
- Jefferson, M. S. W. (1902): Limiting width of meander belts. National Geographic Magazine 3: 373-384.
- Joó, I. (1992): Recent vertical surface movements in the Carpathian Basin. Tectonophysics 202, 129-134.

- Kazancı, N., Dündar, S., Alçiçek, M. C., Gürbüz, A. (2009): Quaternary deposits of the Büyük Menderes Graben in western Anatolia, Turkey: Implications for river capture and the longest Holocene estuary in the Aegean Sea. *Marine Geology* 264 165–176
- Kellerhals, R., Neill, C. R., Bray, D. I. (1972): Hydraulic and geomorphic characteristics of rivers in Alberta, 52 pp., Res. Count. of Alta., Edmonton.
- Kiipatrick, F. A., Barnes H. H. Jr. (1964): Channel geometry of Piedmont streams as related to frequency of floods, U. S. Geol. Surv. Prof Pap., 422-E, 10 pp.,
- Kiss, T., Blanka, V. (2012): River channel response to climate- and human-induced hydrological changes: Case study on the meandering Hernád River, Hungary *Geomorphology* 175–176 (2012) 115–125
- Kiss, T., Fiala, K., Sipos, Gy. (2008): Alterations of channel parameters in response to river regulation works since 1840 on the Lower Tisza River (Hungary). *Geomorphology* 98 (2008) 96–110
- Kiss, T., Oroszi, V. Gy., Sipos Gy., Fiala, K., Benyhe, B. (2011): Accelerated overbank accumulation after nineteenth century river regulation works: A case study on the Maros River, Hungary. *Geomorphology* 135 (2011) 191–202
- Knighton, A. D., Nanson (1993): Anastomosis and the continuum of channel pattern. *Earth Surf. Proc. Landf.* 18. 613-625
- Kovács, G. (2010): The advantages of using the second military survey maps in fluvial studies. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica* 45 (1), 64–70.
- Lancaster, S. T., Bras, R. L. (2002): A simple model of river meandering and its comparison to natural channels. *Hydrological Processes* 16: 1-26.
- Lane, E. W. (1957): A study of the shape of channels formed by natural streams flowing in erodible material. US Army Corps Eng., Missouri River Div., Omaha, Nebr., MRD Sediment Series 9:1-106.
- Lászlóffy W. (1982): A Tisza – vízi munkálatok és vízgazdálkodás a tiszai vízrendszerben. Akadémiai Kiadó, Budapest. 610 o.
- Lenhardt, W. A., Švancara, J., Melichar, P., Pazdírková, J., Havíř, J., Sýkorová, Z. (2007): Seismic activity of the Alpine–Carpathian–Bohemian Massif region with regard to geological and potential field data. *Geologica Carpathica* 58 (4), 397–412.
- Leopold, L. B., Skibitzke, H. E. (1967): Observations on unmeasured rivers, *Geogr. Ann.*, 49, 247-255
- Leopold, L. B., Wolman, M. G. (1957): River channel patterns; braided, meandering and straight. USGS Prof. Paper 282B, 1-73.

- Leopold, L. B., Wolman, M. G. (1960): River meanders. *Bulletin of the Geological Society of America* 71, 769-794
- Lóki J., Félegyházi E.: A Bodrogköz kialakulása és mai felszíne. <http://geogis.detek.unideb.hu/Kutatas/Felszinfeloldes/Bodrogkoz.pdf>
- Magyar, I., Radivojević, D., Sztanó, O., Synak, R., Ujszászi, K., Pócsik, M. (2012): Progradation of the paleo-Danube shelf margin across the Pannonian Basin during the Late Miocene and Early Pliocene, *Global and Planetary Change* (2012), doi:10.1016/j.gloplacha.2012.06.007
- Marple, R. T., Talwani, P. (1993): Evidence of possible tectonic upwarping along the South Carolina coastal plain from an examination of river morphology and elevation data. *Geology* 21, 651-654.
- Marple, R. T., Talwani, P. (2000): Evidence for a buried fault system in the Coastal Plain of the Carolinas and Virginia – Implications for neotectonics in the southeastern United States. *Geol. Soc. Am. Bull.* 112, 200-220.
- Miall, A. D., 1977. A review of the braided river depositional environment. *Earth Sci. Rev.* 13, 1-62.
- Mike, K. (1975): Utilization of the analysis of ancient river beds for the detection of holocene crustal movements. *Tectonophysics*, 29, 359-368.
- Okay, A. I. (2001): Stratigraphic and metamorphic inversions in the central Menderes Massif: a new structural model. *International Journal of Earth Sciences*, 89, 709-727.
- Ouchi, S. (1985) Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement. *Geol. Soc. Am. Bull.* 96, 504-515.
- Pallas lexikon: A Pallas nagy lexikona, Magyar Elektronikus Könyvtár.
- Papp, K. (1922): Emlékbeszéd Lóczy Lajosról. – A Szent István Akadémia emlékbeszédei. Bp., 1922. 1. köt. 5. sz. pp. 3–28.
- Petrovszki, J. (2008): A Körös-vízrendszer morфомetriai vizsgálata neotektonikai következtetésekkel. Diplomamunka, ELTE, Geofizikai Tanszék, Budapest, 41 p.
- Petrovszki J. (2009a): Archív térképek használata a környezeti földtudományban: esettanulmány a Körösök vidékéről. *Geodézia és Kartográfia*, 61/2, 28-31.
- Petrovszki, J. (2009b): An anastomosed section of the Crișul Repede river in the old military survey maps. *Geographia Technica*, 2009/2, 58-66.
- Petrovszki, J., Mészáros, J. (2010): The Great Hungarian Plain in the sheets of the Habsburg Military Surveys and some historical maps – a case study of the Körös/Criș drainage basin. *Acta Geod. Geoph. Hung.*, 45(1) 1-8

- Petrovski, J., Timár, G. (2010): Channel sinuosity of the Körös River system, Hungary/Romania, as possible indicator of the neotectonic activity. *Geomorphology*, 122, 223-230
- Petrovski, J., Székely, B., Timár, G. (2012): A systematic overview of the coincidences of river sinuosity changes and tectonically active structures in the Pannonian Basin. *Global and Planetary Change* (98-99), 109-121
- Pinter, N. C., 1996. Active tectonics. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 338 p.
- Pišut, P. (2006): Evolution of meandering Lower Morava River (West Slovakia) during the first half of 20th century. *Geomorphologica Slovaca* 6(1), 55-68.
- Raj R. (2007): Strike slip faulting inferred from offsetting of drainages: Lower Narmada basin, western India. *J. Earth Sci.* 116, 413-421
- Remo, J. W. F., Pinter, N., Heine, R. (2009): The use of retro- and scenario-modeling to assess effects of 100+ years river of engineering and land-cover change on Middle and Lower Mississippi River. flood stages. *Journal of Hydrology*, 376. 403-416
- Russel, R. J. (1954): Alluvial morphology of Anatolian rivers. *Ann. Assoc. Amer. Geogr.* 44. 363-391
- Schumm, S. A. (1960): The shape of alluvial channels in relation to sediment type. *USGS Prof. Paper* **352B**: 17-30.
- Schumm, S. A. (1963): A tentative classification of alluvial river channels. *US Geol. Surv. Circ.* V477.
- Schumm, S. A. (1977): *The Fluvial System*, John Wiley & Sons, New York, 338 pp.
- Schumm, S. A. (1986): Alluvial River Response to Active Tectonics. In: *Active Tectonics. Studies in Geophysics*. ISBN 0-309-03638. National Academy Press, Washington, D. C., pp. 80-94.
- Schumm, S. A. (2005): *River variability and complexity*. Cambridge University Press, ISBN 0-521-04099-X
- Schumm, S. A., Khan, H. R. (1972): Experimental study of channel patterns. *Geol. Soc. Am. Bull.* 83: 1755-1770.
- Sigafoos, R. S. (1964): Botanical evidence of floods and flood-plain deposition. *U.S. Geol. Surv. Prof Pap.*, 485-A, 35 pp.
- Simpson, C. J., Smith D. G. (2001): The braided Milk River, northern Montana, fails the Leopold-Wolman discharge gradient test. *Geomorphology* 41, 337-353
- Stølum, H.-H.(1996): River meandering as a self-organization process. *Science* **271**: 1710-1713.

- Stølum, H.-H. (1998): Planform geometry and dynamics of meandering rivers. *Geol. Soc. Am. Bull.* 110: 1485-1498.
- Sümegehy J. (1953): A magyarországi pleisztocén összefoglaló ismertetése, MÁFI évi jelentés, 395-403
- Szabó J. (1993): A víz földrajza. In: BORSI Zoltán (ed.): Általános természetföldrajz. Nemzeti Tankönyvkiadó, Bp., 124-250.
- Sztanó, O., Szafián, P., Magyar, I., Horányi, A., Bada G., Hughes, D. W., Hoyer, D. L., Wallis, R. J. (2012): Aggradation and progradation controlled clinothems and deep-water sand delivery model in the Neogene Lake Pannon, Makó Trough, Pannonian Basin, SE Hungary, *Glob. Planet. Change*, doi:10.1016/j.gloplacha.2012.05.026
- Tayfur, G., Singh, V. P. (2011): Predicting Mean and Bankfull Discharge from Channel Cross-Sectional Area by Expert and Regression Methods. *Water Resour Manage* (2011) 25:1253–1267
- Timár G. (2003): Geológiai folyamatok hatása a Tisza alföldi szakaszának medermorfológiájára. Doktori (Ph.D.) értekezés, Geofizikai Tanszék, ELTE, Budapest, 135 o.
- Timár, G. (2003): Controls on channel sinuosity changes: a case study of the Tisza River, the Great Hungarian Plain. *Quat. Sci. Rev.* 22, 2199–2207.
- Timár, G. (2004): GIS integration of the second military survey sections — a solution valid on the territory of Slovakia and Hungary. *Kartografické listy* 12, 119–126.
- Timár, G., Molnár, G., Márta, G. (2003): A budapesti sztereografikus, ill. a régi magyarországi hengervetületek és geodéziai dátumaik paraméterezése a térinformatikai gyakorlat számára. *Geodézia és Kartográfia* 55(3): 16-21.
- Timár, G.; Sümegehy, P., Horváth, F., 2005. Late Quaternary dynamics of the Tisza River: Evidence of climatic and tectonic controls. *Tectonophysics* 410, 97-110.
- Timár, G., Molnár, G., Székely, B., Biszak, S., Varga, J., Jankó, A. (2006): Digitized maps of the Habsburg Empire — the map sheets of the second military survey and their georeferenced version. Arcanum, Budapest, 59 pp.
- Twidale, C.R. (2004): River patterns and their meaning. *Earth-Science Reviews* 67 (2004) 159–218
- Twidale, C. R. (1996): Late Cenozoic activity of the Selwyn upwarp, northwest Queensland. *J. Geol. Soc. S. Aust.* 13, 491-494
- van Balen, R.T., Kasse, C., Moor, J. (2008): Impact of groundwater flow on meandering: Example from the Geul river, the Netherlands. *Earth Surf. Process. Landf.* 33 (13), 2010–2028.

- van den Berg, J. H. (1995): Prediction of alluvial channel pattern of perennial rivers. *Geomorphology* 12 (1995) 259-279
- Vandenberghe, J. (1993): Changing fluvial processes under changing periglacial conditions. *Z. Geomorph. N. F.* 88, 17-28
- Varga, J. (2002): A vetületnélküli rendszerektől az UTM-ig. On-line kézirat URL: http://www.agt.bme.hu/staff_h/varga/Osszes/Dok3uj.htm, accessed at 2011.10.03.
- Viczián E. (1905): Magyarország vízierői. Általános fölvétel. Pallas Részvénytársaság Nyomdája, Budapest
- VITUKI (1965): Magyarország vízvidékeinek hidrológiai viszonyai. Szerkesztette: Goda L.; Szerzők: Lászlóffy W., Szesztay K., Károlyi Z., Zsuffa I., Szabó S., Kárpátiné R. D.
- Williams, G. P. (1978): Bankfull discharge of rivers. *Water Resource Research* 14: 1141-1154
- Wolman, M. G. (1955): The natural channel of Brandywine Creek, Pennsylvania, U.S. *Geol. Surv. Prof. Pap.*, 271, 56 pp.
- Wolman, M. G., Leopold L. B. (1957): River floodplains: Some observations on their formation, *U.S. Geol. Sum. Prof. Pap.*, 282-C, 86-109.
- Woodyer, K. D. (1968): Bankfull frequency in rivers. *J. Hydrol.* 6, 114-142.
- Zámolyi, A., Székely, B., Draganits, E., Timár, G. (2010): Neotectonic control on river sinuosity at the western margin of the Little Hungarian Plain. *Geomorphology* 122, 231-243.

Ábrajegyzék

2.1. ábra.	A folyók hosszúság-szelvényeinek változásai az aktív tektonika okozta kiemelkedésekre és süllyedésekre (Holbrook és Schumm, 1999).	8
2.2. ábra.	Leopold és Wolman (1957) által vizsgált folyók esés és mederkitöltő-vízhozam értékei.	12
2.3. ábra.	A völgylejtés és kanyarfejltség kapcsolata Schumm és Khan (1972) modell-kád kísérletei alapján.	14
2.4. ábra.	Schumm és Khan (1972) által a modell-kádakban létrehozott medrek.	15
2.5. ábra.	A vertikális felszínmozgások hatása a folyók alakjára, alakípusára. Ouchi (1985) alapján.	16
2.6. ábra.	Adams (1980) számításai a Mississipp St. Louis és Cairo közötti szakaszára.	17
2.7. ábra.	A folyóvölgyek keresztmetszetének változásai az Atlanti Parti Síkság területén (Marple és Talwani, 2000).	19
2.8. ábra.	Timár (2003) által egyesített pseudo-3dimenziós diagram.	20
3.1. ábra.	A 3D grafikonhoz felhasznált pontok (Viczián, 1905; VITUKI, 1965) elhelyezkedése a vízhozam-esés grafikonon.	24
3.2. ábra.	Az átlagos és mederkitöltő vízhozamok (van den Berg, 1995), és az illesztett egyenes.	26
3.3. ábra.	Az átlagos és a számolt mederkitöltő vízhozamok.	26
3.4. ábra.	A szabályozott és a kiszámolt természetes mederlejtés.	28
3.5. ábra.	A Pannon-medence folyóinak mederkitöltő vízhozam, mederlejtés és kanyarfejltség értékeire illesztett absztrakt felület (lokális polinom illesztéssel).	29
3.6. ábra.	Keresztszelvény a felület adott vízhozamoknál kialakult maximum kanyarfejltség értékein keresztül	30
3.7. ábra.	A felületillesztéshez felhasznált pontok elhelyezkedése a mederlejtés – mederkitöltő vízhozam függvényében.	31
3.8. ábra.	A legvalószínűbb kanyarfejltséget mutató absztrakt felület a Pannon-medence folyóinak esés-mederkitöltő vízhozam-kanyarfejltség értékeire, a bemutatott korrekciók után, lokális polinom illesztéssel.	32

3.9. ábra.	Keresztszelvény az adott vízhozamhoz tartozó maximum kanyarfejlettség-értékeken keresztül, a bevágódott folyópontok nélküli felületen.	33
3.10. ábra.	A 20-30 m ³ /s-os mederkitöltő vízhozamnál található mederlejtés és kanyarfejlettség értékek, a rájuk illesztett görbe, valamint Schumm és Khan (1972) modellkád-kísérleteinek eredménye.	33
3.11. ábra.	Példák a Második Katonai Felmérés térképeiről a vándorló/szervezetlenül meanderező folyószakaszokra.	35
4. ábra.	A feldolgozás folyamatábrája: digitalizálás, kanyarfejlettség számítás és osztályozás.	36
4.1. ábra.	Békéscsaba a Második Katonai Felmérés idejében és napjaink műholdképén (Google Earth).	37
4.2. ábra.	A József Nádor Malomcsatorna Gyulavarsánd és Borosjenő között.	38
4.3. ábra.	A Berettyó szabályozása.	39
4.4. ábra.	A Fehér-, a Fekete-, és a Kettős-Körös szabályozása Gyula és Békés között.	39
4.5. ábra.	A Hármas-Körös természetes és mesterséges holtágai Gyoma és Mezőtúr környékén.	40
4.6. ábra.	A Második Katonai Felmérés során felmért területek (Jankó, 2007).	42
4.7. ábra.	Kanyarfejlettség spektrum a Garamra.	43
4.8. ábra.	A folyók kanyarfejlettség-értékeinek hisztogramjai.	45
4.9. ábra.	Az összes vizsgált folyószakaszra egyszerre elvégzett osztályozás statisztikus eredményei.	46
4.10. ábra.	Normált kanyarfejlettségekre, az összes folyóra egyszerre kiszámolt Isoclass osztályok.	47
4.11. ábra.	A kanyarok hatása a kanyarfejlettség-spektrumon.	51
4.12. ábra.	A Latorca pontjainak megoszlása a különböző osztályokban, a kanyarfejlettség-értékek alapján.	53
4.13. ábra.	Az egyszerre elvégzett osztályozás eredménye.	54
5.1. ábra.	A vizsgált folyókat az elemzéshez 6 régióra osztottam.	55
5.2. ábra.	Kanyarfejlettség-spektrumok a Pannon-medence folyóira.	56
5.3. ábra.	Északnyugati folyók: Mosoni-Duna, Vág-Duna, Vág, Nyitra, Garam, Ipoly.	58

5.4. ábra.	A kanyarfejltség-értékek változása az északnyugati folyók mentén.	59
5.5. ábra.	Az Isoclass osztályok változása az északnyugati folyók mentén.	59
5.6. ábra.	A Duna medre a Második Katonai Felmérés térképlapjain.	60
5.7. ábra.	A kanyarfejltség-értékek változása a Duna mentén.	61
5.8. ábra.	Az Isoclass osztályok változása a Duna mentén.	61
5.9. ábra.	A Dráva és a Száva medre a Második Katonai Felmérés térképein.	62
5.10. ábra.	A kanyarfejltség-értékek változása a Dráva és Száva mentén.	63
5.11. ábra.	Az Isoclass osztályok változása a Dráva és Száva mentén.	63
5.12. ábra.	A Felső-Tisza vidék folyói.	64
5.13. ábra.	A Tisza és a Latorca Záhonynál.	64
5.14. ábra.	A kanyarfejltség-értékek változása a Felső-Tisza vidékén.	65
5.15. ábra.	Az Isoclass osztályok változása a Felső-Tisza vidékén.	65
5.16. ábra.	Az erdélyi folyók a Második Katonai Felmérés térképein.	66
5.17. ábra	A kanyarfejltség-értékek változása az erdélyi folyók mentén.	67
5.18. ábra.	Az Isoclass osztályok változása az erdélyi folyók mentén.	67
5.19. ábra.	A Körösök vidéke a Második Katonai Felmérés térképein.	68
5.20. ábra.	A kanyarfejltség-értékek változása a Körösök vidékén.	69
5.21. ábra.	Az Isoclass osztályok változása a Körösök vidékén.	69
6.1. ábra.	Kanyarfejltségek változása és a folyókat metsző vetők – Északnyugati terület	71
6.2. ábra.	Kanyarfejltségek változása és a folyókat metsző vetők – Felső-Tisza vidéke	72
6.3. ábra.	MK21-es szelvény a 4a és b vetőkkel, és a Sajó kanyarfejltség spektruma	72
6.4. ábra.	Kanyarfejltségek változása és a folyókat metsző vetők – erdélyi folyók és Körösök.	73
6.5. ábra.	Kanyarfejltségek változása és a folyókat metsző vetők – Duna, Dráva, Száva	74
6.6. ábra.	A Dunát metsző Vető10 szeizmikus szelvényen.	74

6.7. ábra.	A kanyarfejllettségek alakulása és az ismert vetők helyzete a folyók mentén.	77
6.8. ábra.	Az isoclass osztályok és az ismert vetők helyzete a folyók mentén.	79
6.9. ábra.	Az isoclass osztályok a kvarter üledékvastagság (Horváth, 1985) térképen.	80
6.10. ábra.	Blokk-modell a Körösök menti felszínmozgások bemutatására, kanyarfejllettség értékek változása, szeizmikus szelvények és neotektonikai térkép alapján (Petrovszki és Timár, 2010).	81
6.11. ábra.	Az Isoclass osztályok változása a Körösök menti blokk-modellen.	81
6.12. ábra.	A Sebes-Körös természetes medre Berekböszörménynél, a Második Katonai Felmérés térképlapjain.	82
6.13. ábra.	A blokk-modellen bemutatott felszínmozgások irányának megállapításához/igazolásához felhasznált szeizmikus szelvények.	83
6.14. ábra.	Kanyarfejllettségek és osztályok változása a Szamos mentén.	84
6.15. ábra.	Kanyarfejllettségek és osztályok változása a Kis-Szamos mentén.	85
6.16. ábra.	Kanyarfejllettségek és osztályok változása a Latorca mentén.	86
7.1. ábra.	A Pó medre a Második Katonai Felmérés térképein (1818 és 1829 között).	87
7.2. ábra.	Kanyarfejllettségek és osztályok változása a Pó mentén.	88
7.3. ábra.	Kanyarfejllettségek és osztályok változása a Büyük Menderes mentén, valamint a folyó hossz-szelvénye.	90
7.4. ábra.	Kanyarfejllettség értékek változása a Büyük Menderes torkolathoz közeli szakaszán, Aksu et al. (1987) ábrájának részletén.	91
7.5. ábra.	Kanyarfejllettség változások és Isoclass osztályok a Mississippi és Missouri mentén.	93
7.6. ábra.	Kanyarfejllettség-spektrum és Isoclass osztályok a Missouri mentén.	94
7.7. ábra.	Kanyarfejllettség-spektrum és Isoclass osztályok a Mississippi mentén.	94
7.8. ábra.	A kanyarfejllettségek és az Isoclass osztályok változásai a Mississippi St. Louis és Cairo közötti szakaszán.	95
8.1. ábra.	A vizsgált folyók által neotektonikusan aktívnak jelzett vetők a Pannon-medencében.	99

Mellékletek

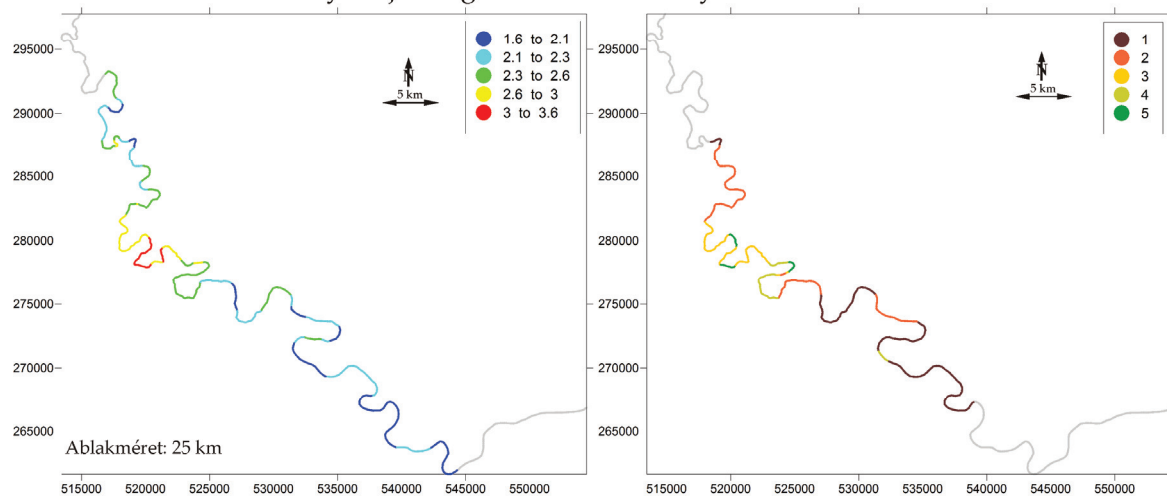
Az eredmények fejezetben csak a folyók mentén mutattam be a kanyarfejlettségek és osztályok változását, a medrek színezésével. Készítettem azonban összefoglaló grafikonokat, amelyek folyónként ábrázolják a kanyarfejlettségek változását, nemcsak színezéssel, hanem az értékek feltüntetésével is. Ezeken szerepelnek a már korábban bemutatott színes medrek is, de most folyónként, és nem területenként. A 4.1. táblázatban adtam meg, melyik folyónál melyik ablakmérettel számolt kanyarfejlettség-értékeket használtam. Bemutatom továbbá a kanyarfejlettség spektrumokat is, valamint a kanyarfejlettségek és osztályok kapcsolatát a meder mentén. Található ezeken az ábrákon két statisztika is: az egyik azt mutatja be, különböző ablakméretekkel mekkora átlagos kanyarfejlettségek kerültek a különböző osztályokba, míg a másikon az látszik, ablakméretenként hogyan változnak a különböző osztályok átlagos kanyarfejlettségei. A grafikonok bemutatása most sem ábécérendben történik, hanem területenként, ugyanúgy, mint az 5. fejezetben.

A grafikonok sorrendje:

▣ Mosoni-Duna	▣ Ung
▣ Vág-Duna	▣ Latorca
▣ Vág	▣ Bodrog
▣ Nyitra	▣ Tisza (2 oldalon)
▣ Garam	▣ Kraszna
▣ Ipoly	▣ Szamos
▣ Duna	▣ Kis-Szamos
▣ Baracskai-Duna	▣ Olt
▣ Dráva	▣ Maros
▣ Száva	▣ Berettyó
▣ Sajó	▣ Fehér-Körös
▣ Hernád	▣ Fekete-Körös
▣ Ondava	▣ Sebes-Körös
▣ Laborc	▣ Hármas-Körös

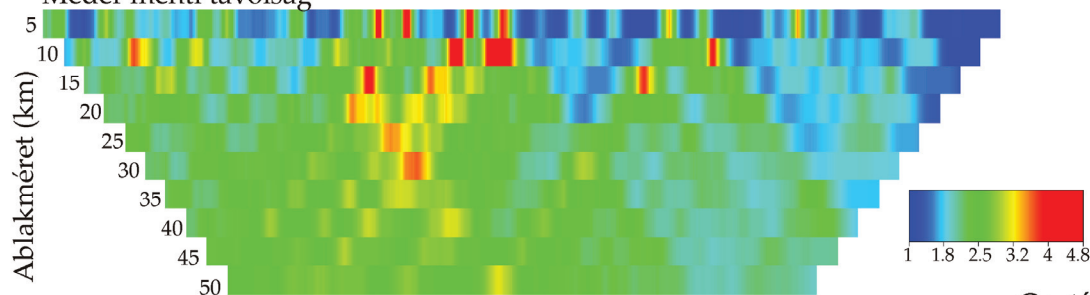
Mosoni-Duna

Kanyarfejltség-változás és osztályok a meder mentén



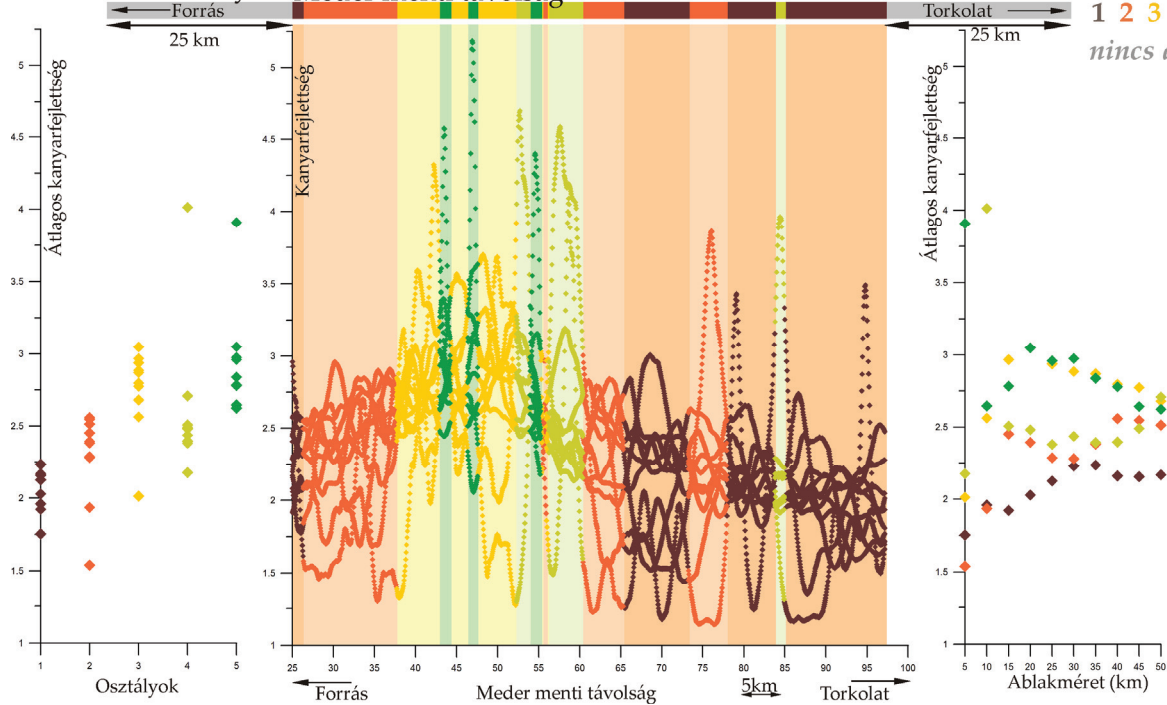
Kanyarfejltség spektrum

Meder menti távolság



ISOCLASS osztályok

Meder menti távolság

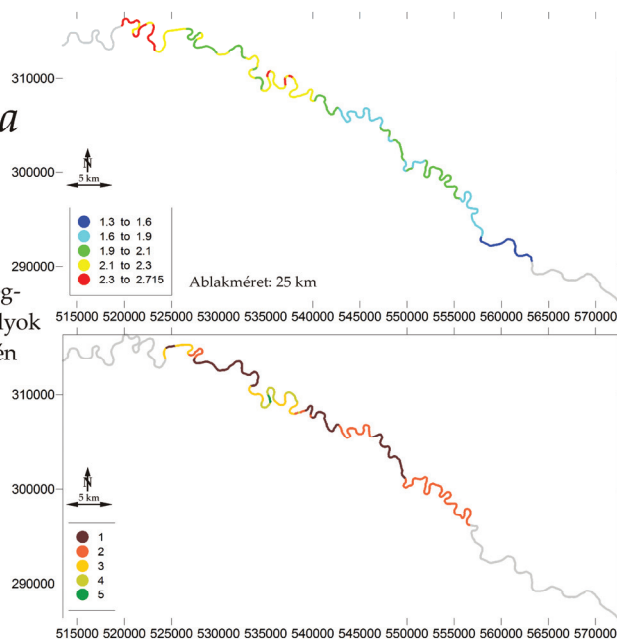


Osztályok:

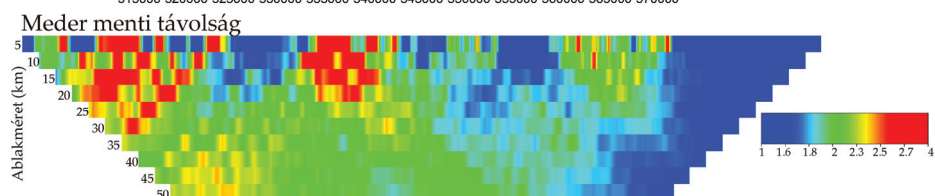
1 2 3 4 5
nincs adat

Vág-Duna

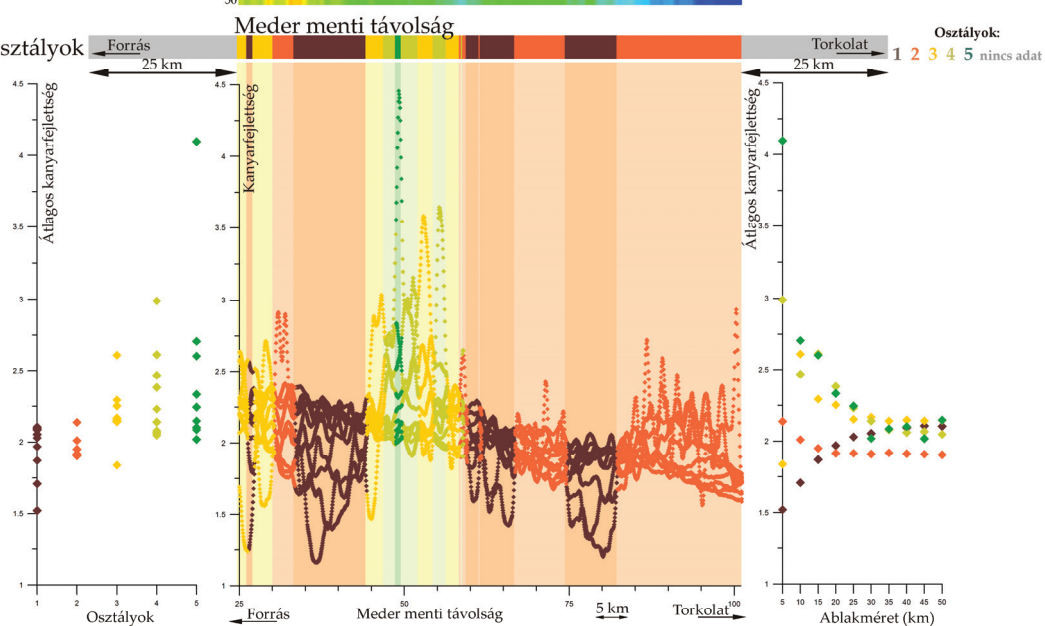
Kanyarfejlettség-
változás és osztályok
a meder mentén

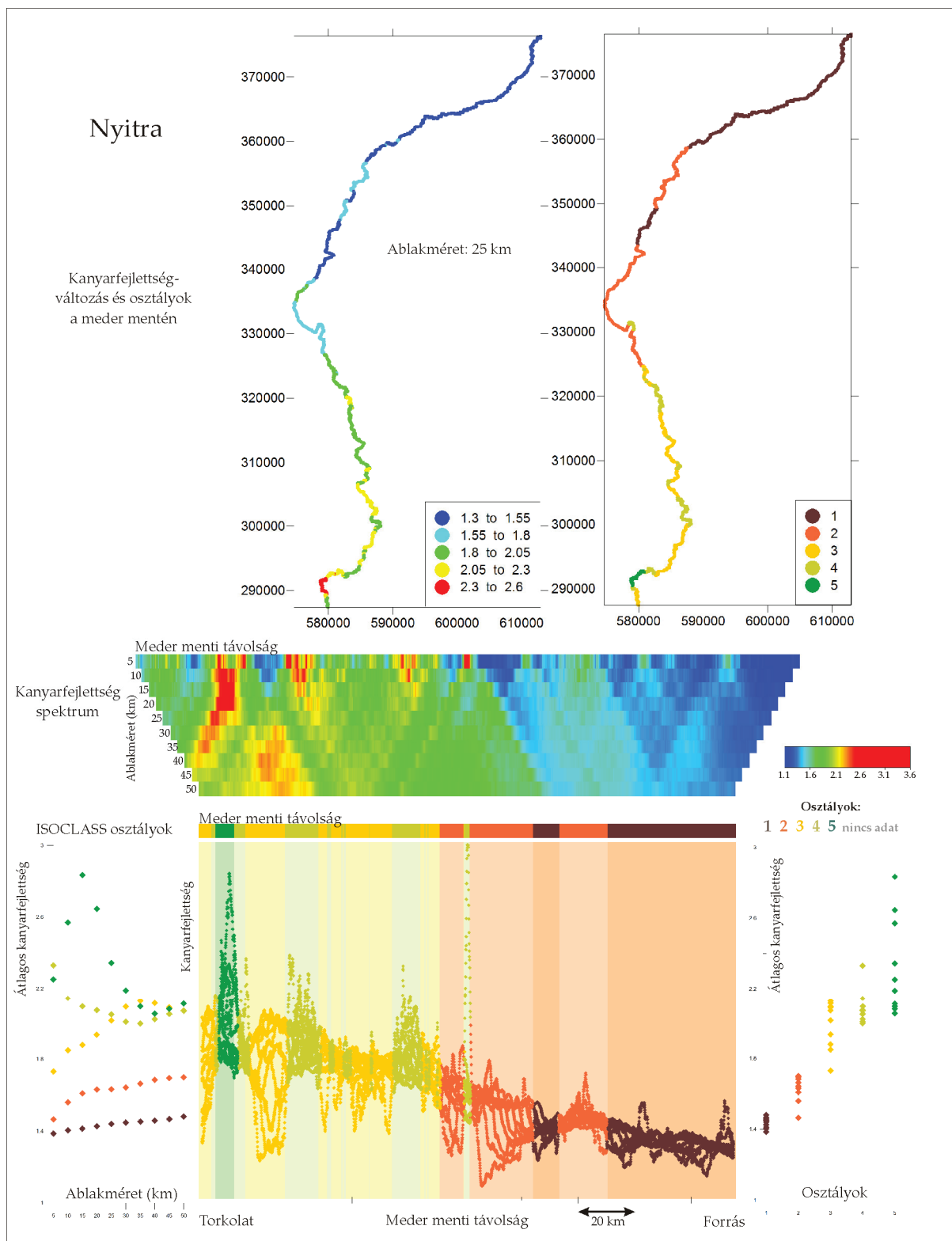


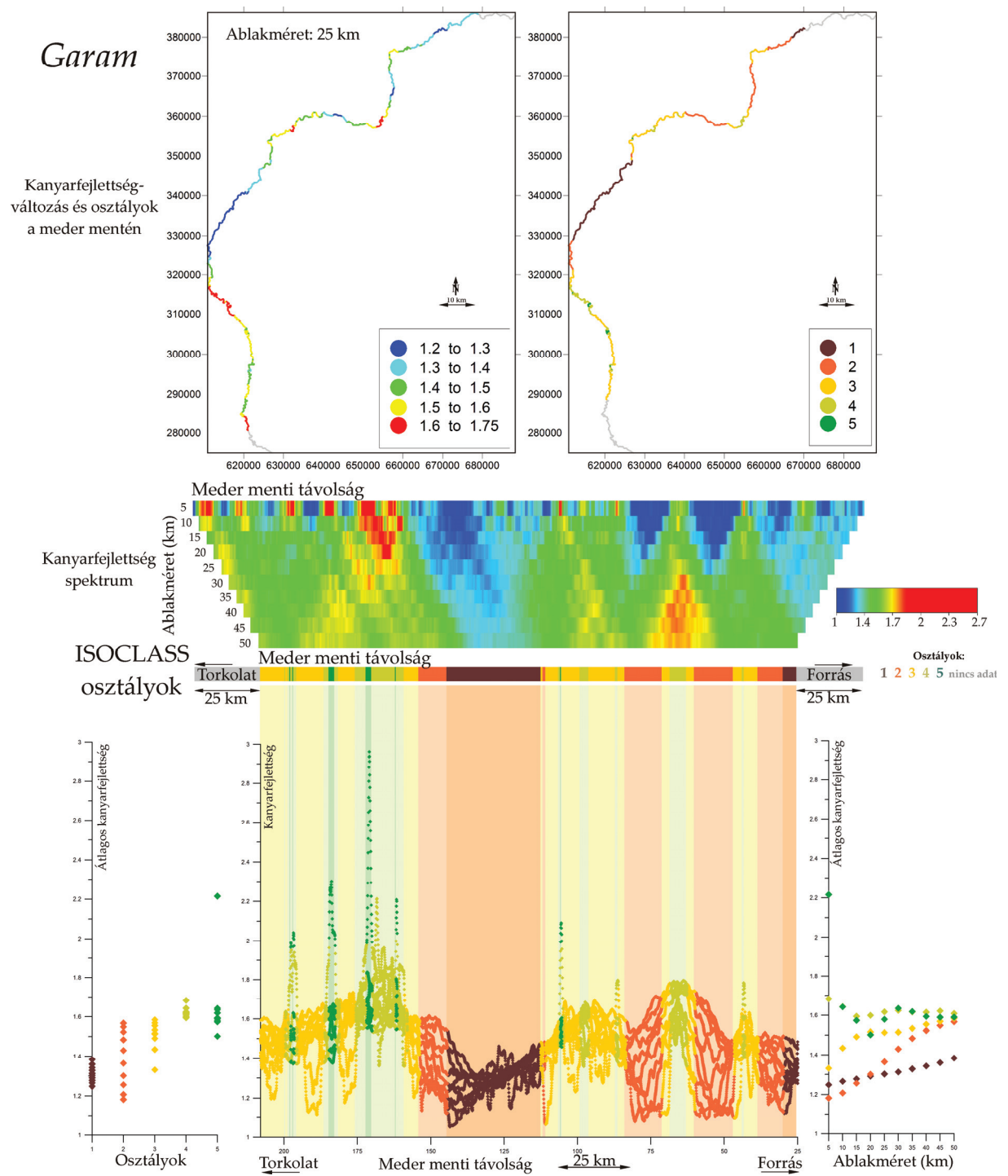
Kanyarfejlettség
spektrum

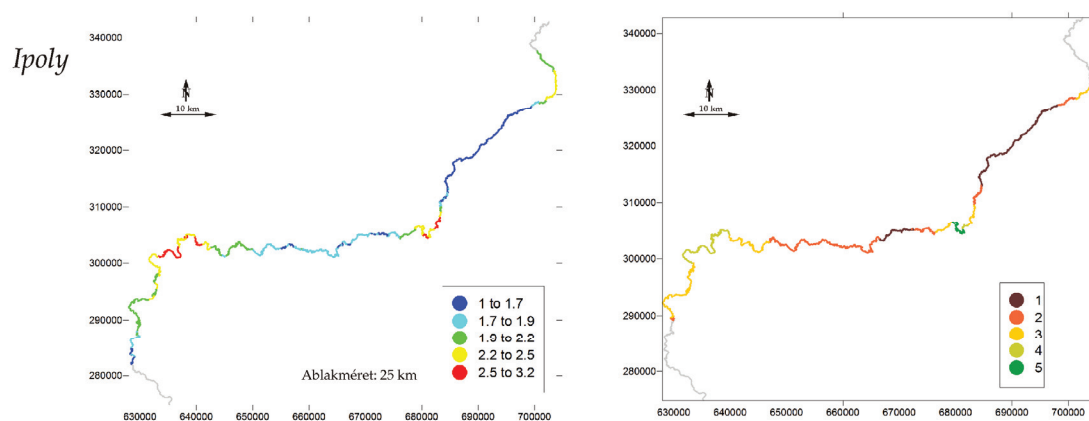


ISOCLASS osztályok

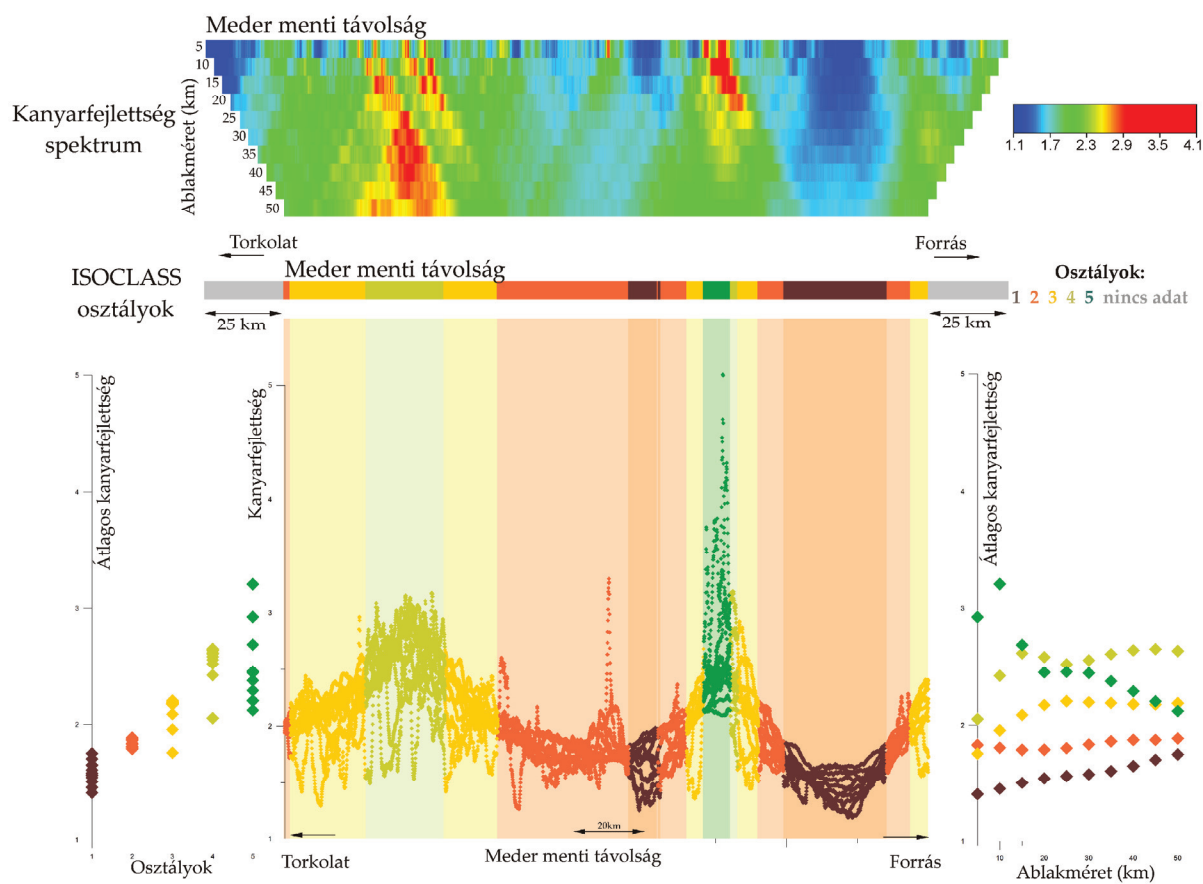


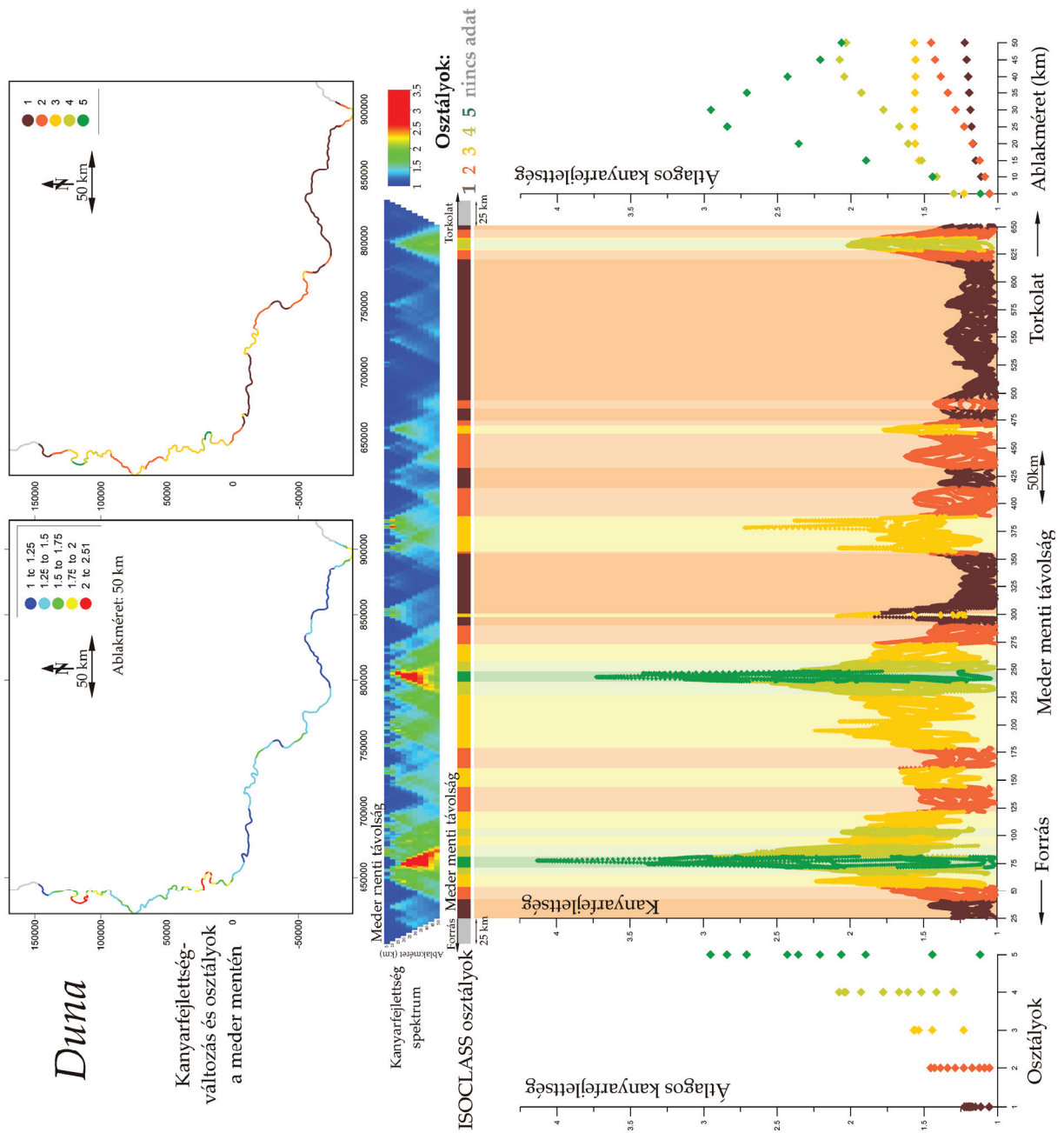






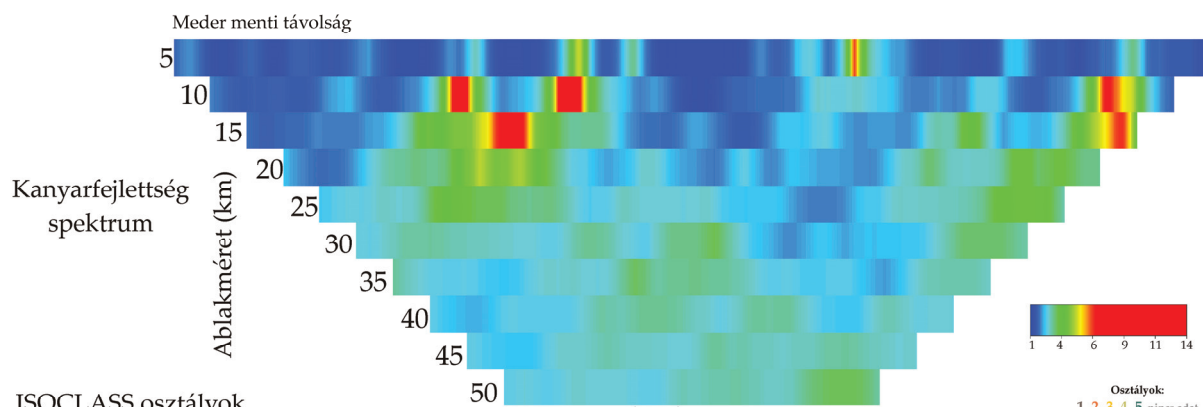
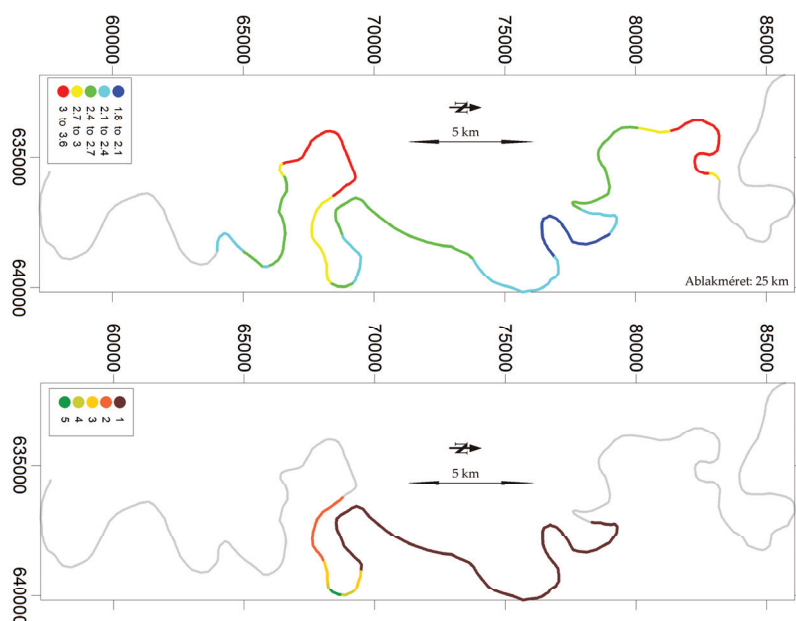
Kanyarfejlettség-változás és osztályok a meder mentén



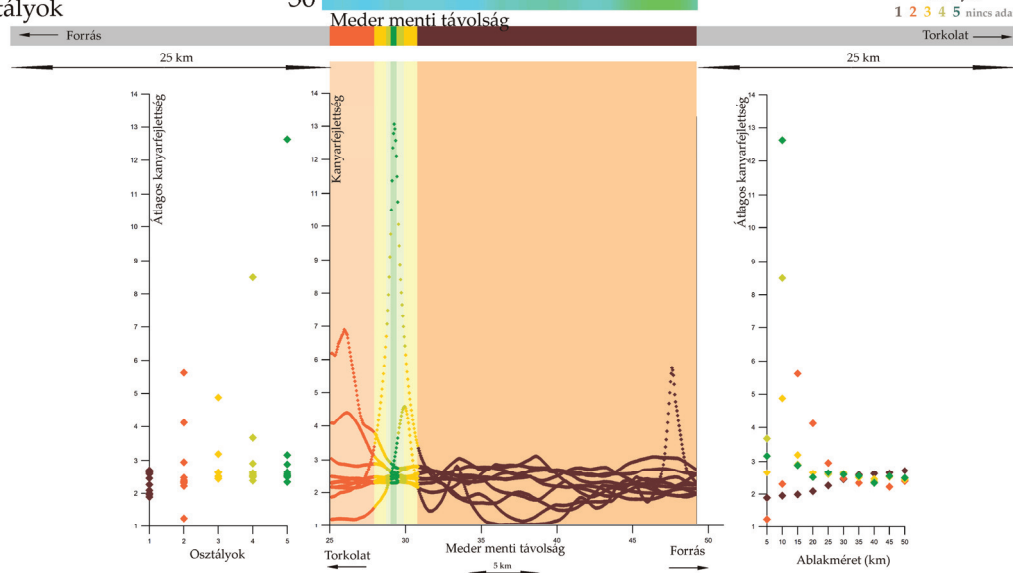


Baracscai-Duna

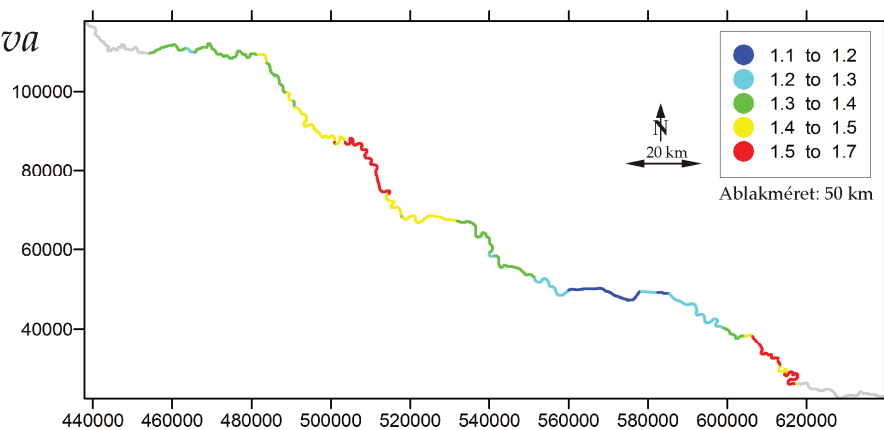
Kanyarfejltség-
változás és osztályok
a meder mentén



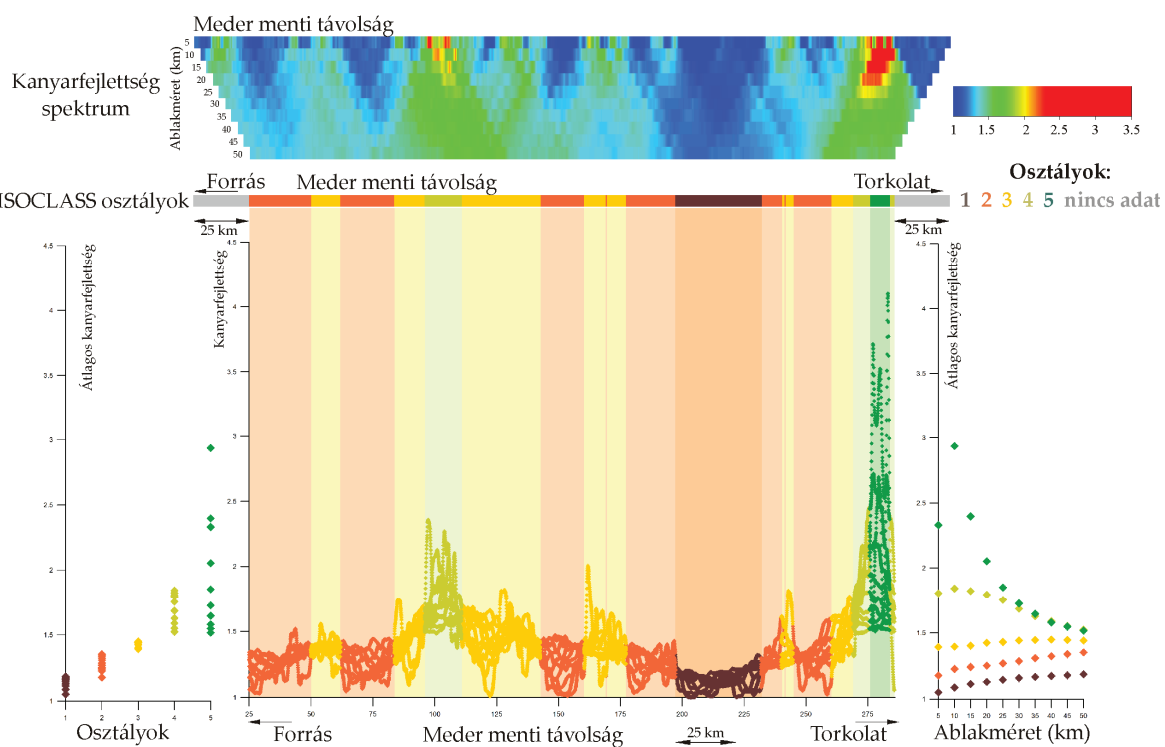
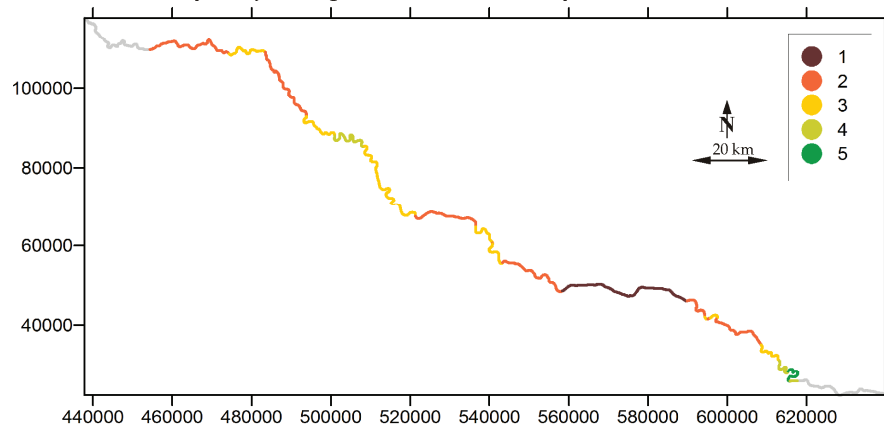
ISOCLASS osztályok



Dráva

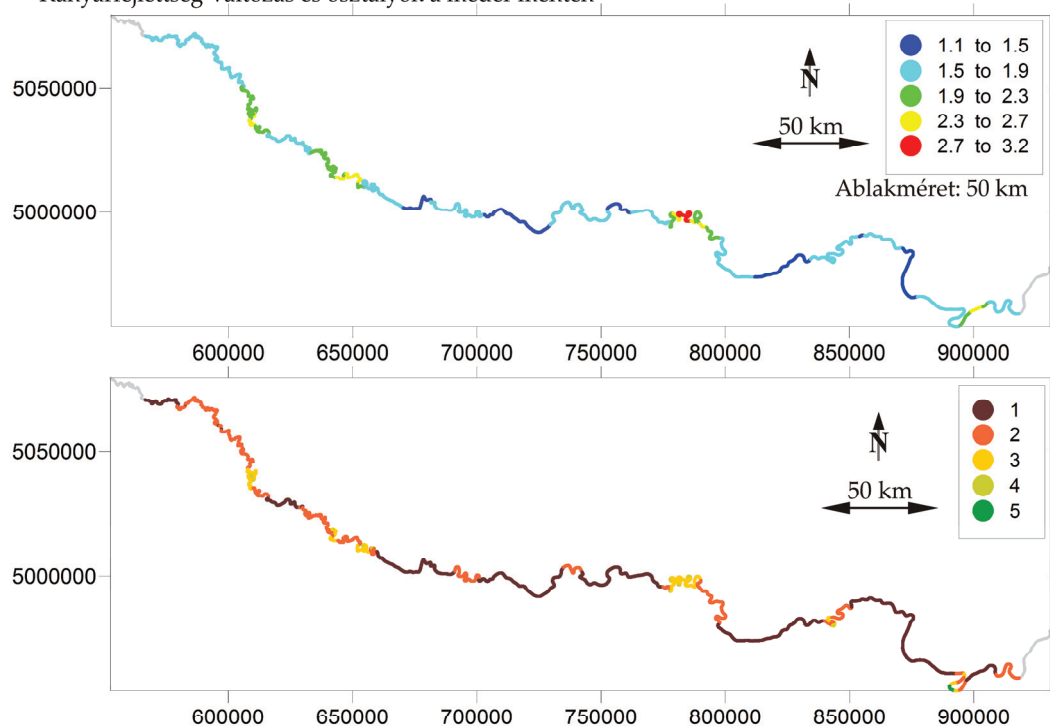


Kanyarfejltség-változás és osztályok a meder mentén

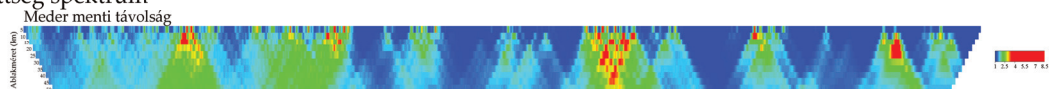


Száva

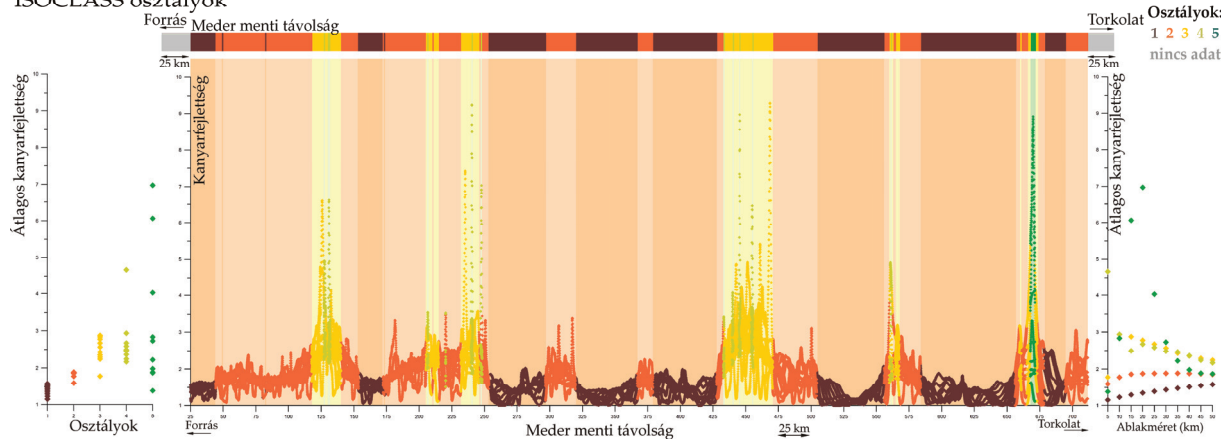
Kanyarfejltség-változás és osztályok a meder mentén



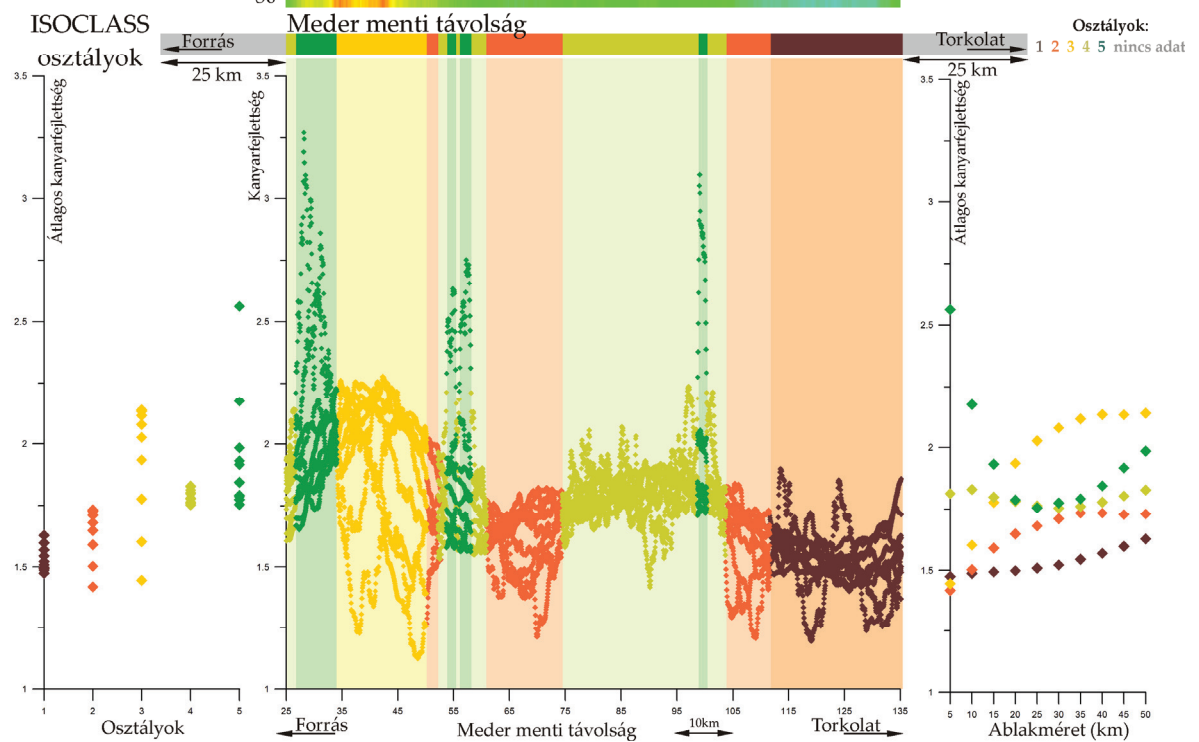
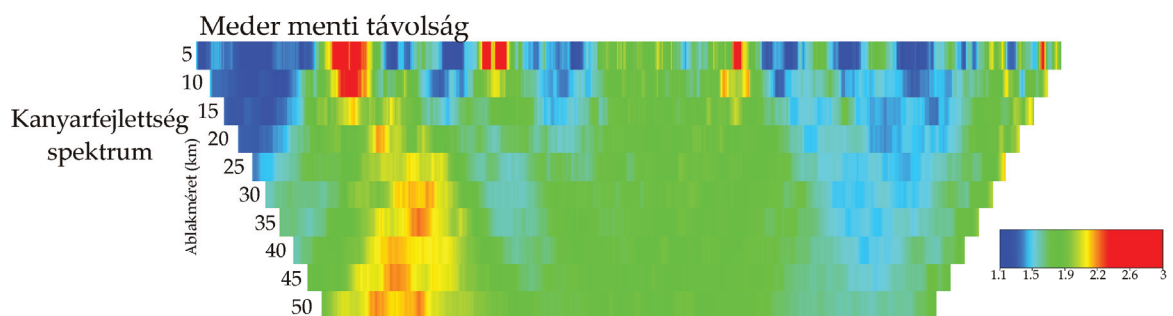
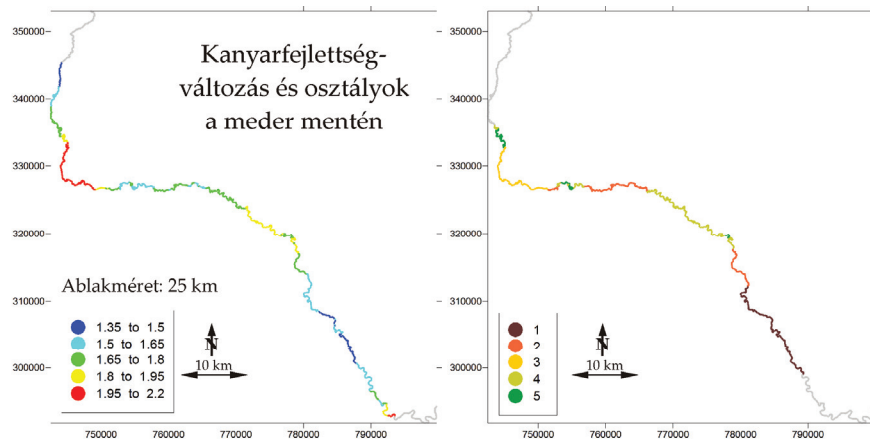
Kanyarfejltség spektrum

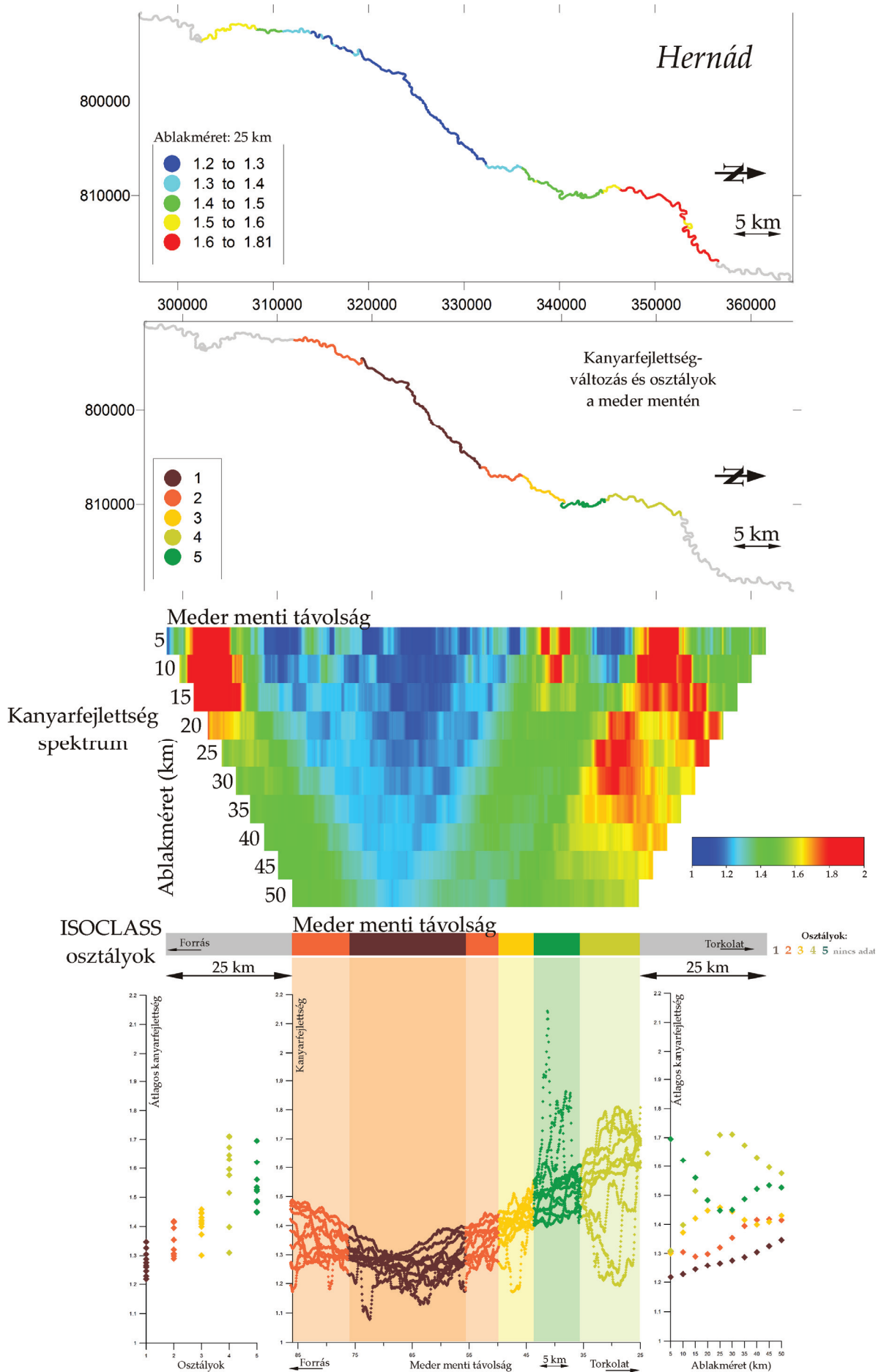


ISOCLASS osztályok



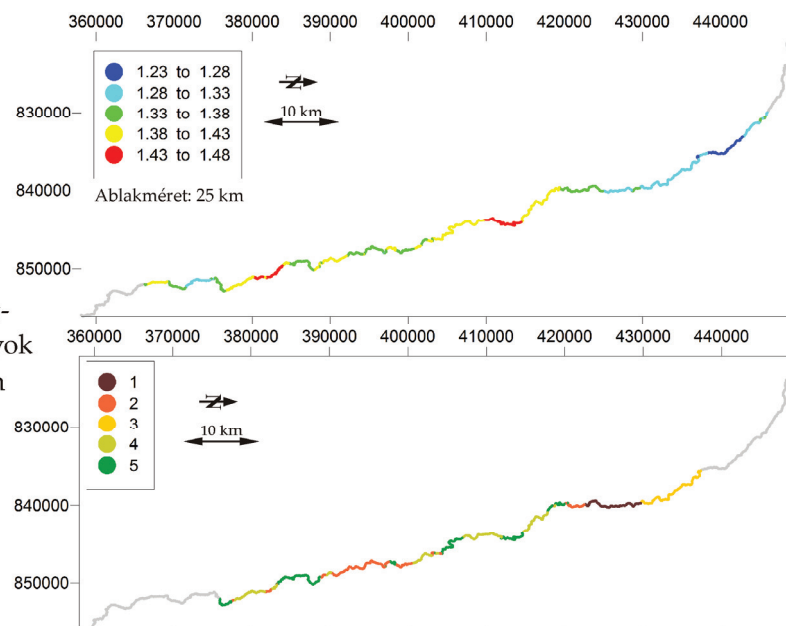
Sajó



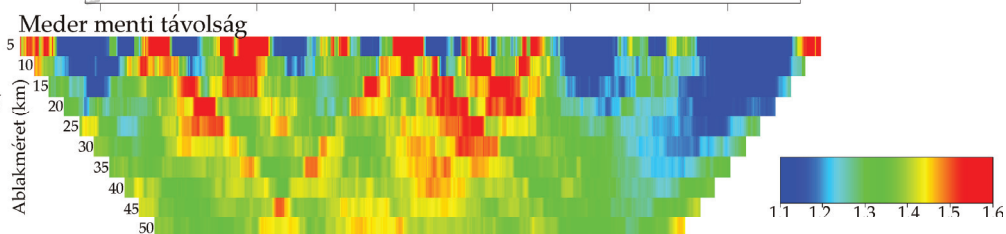


Ondava

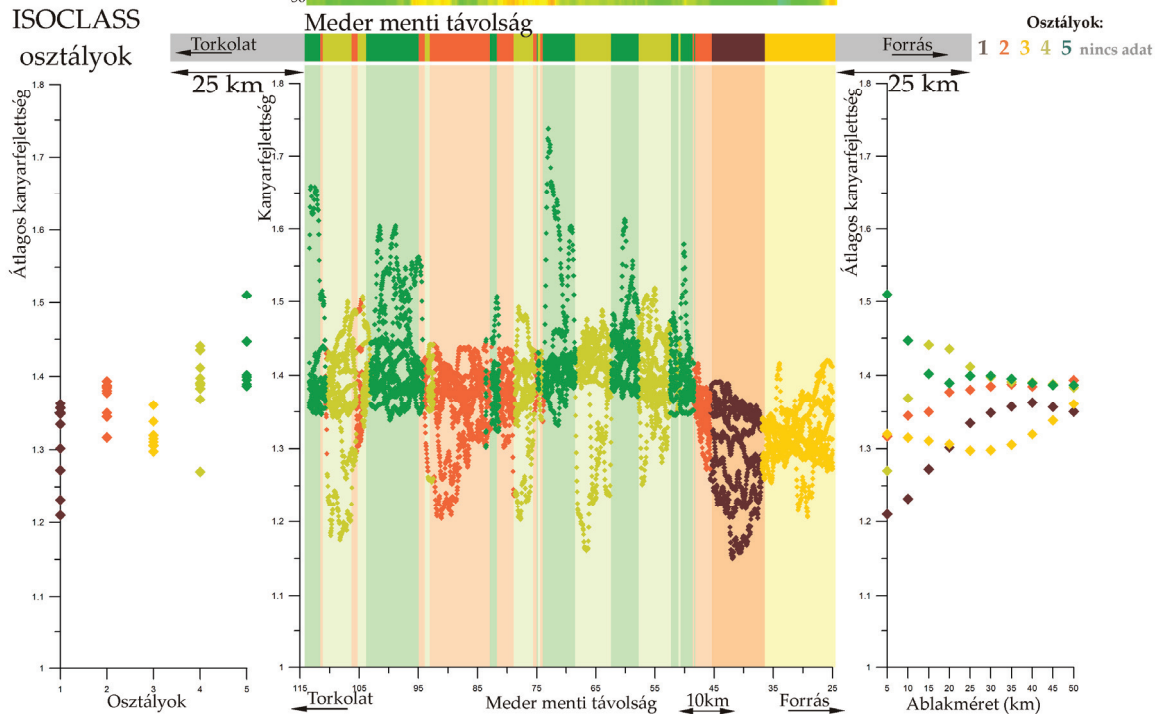
Kanyarfejltség-
változás és osztályok
a meder mentén



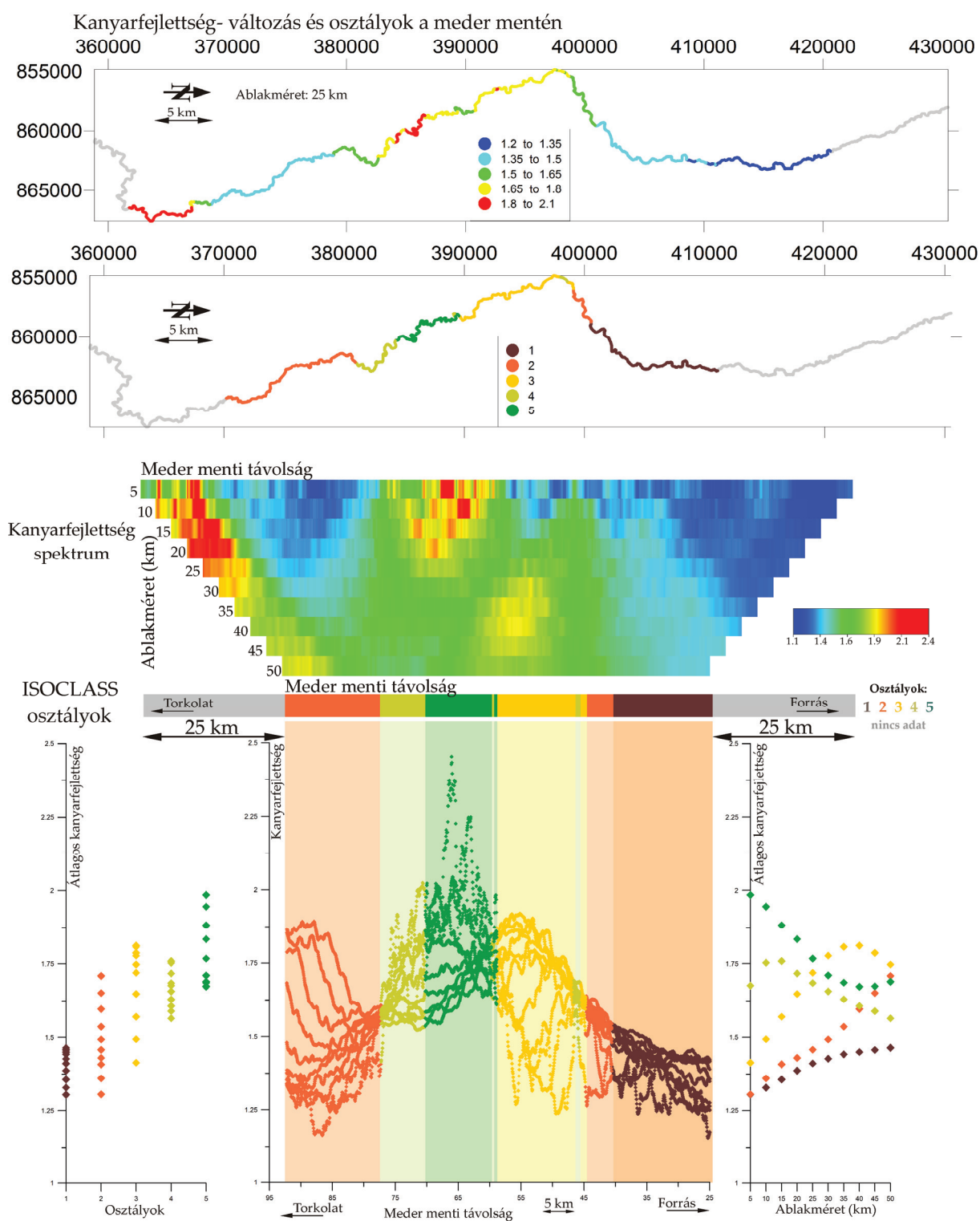
Kanyarfejltség
spektrum

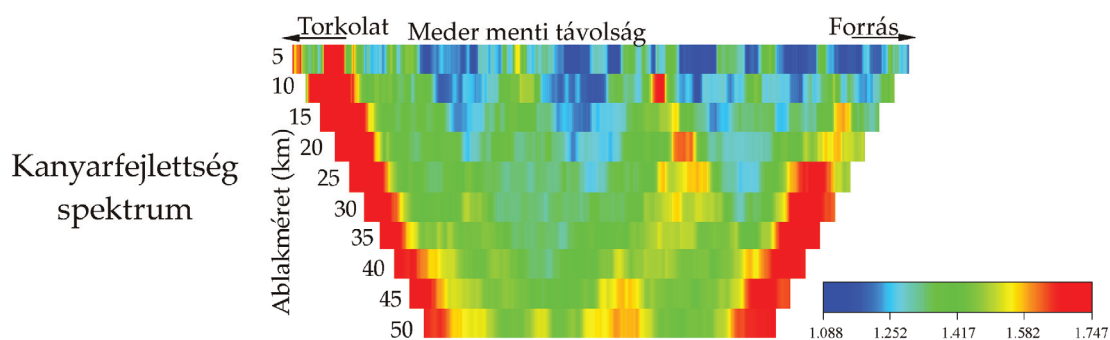
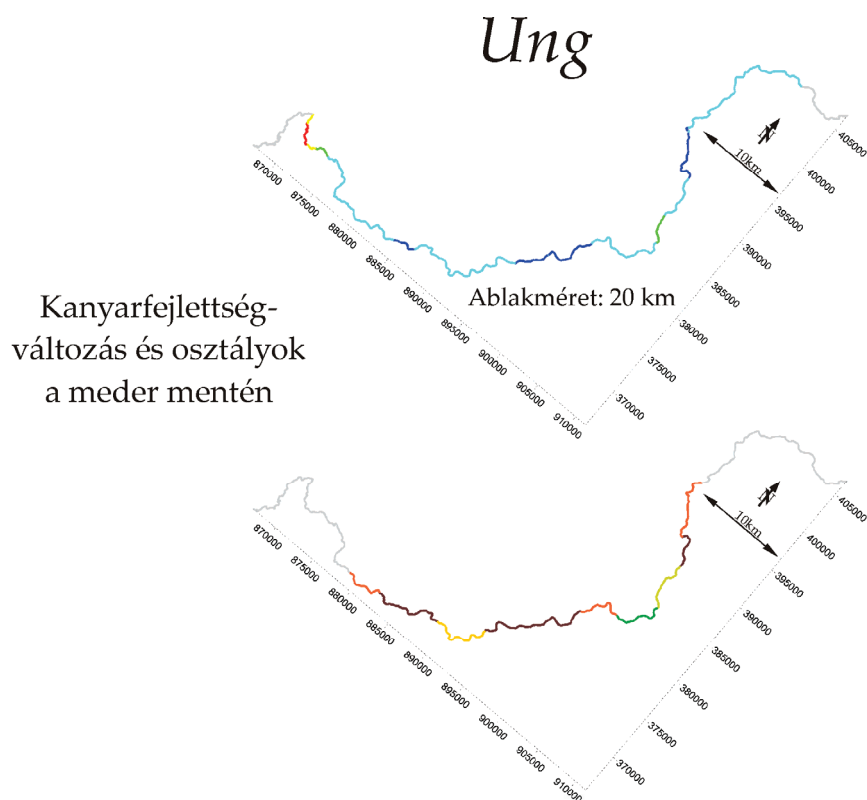


ISOCLASS
osztályok

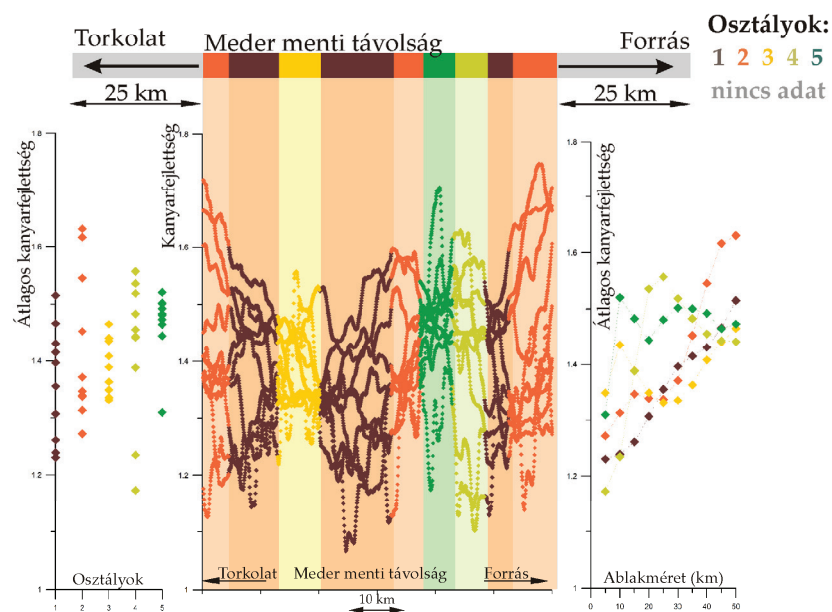


Laborc

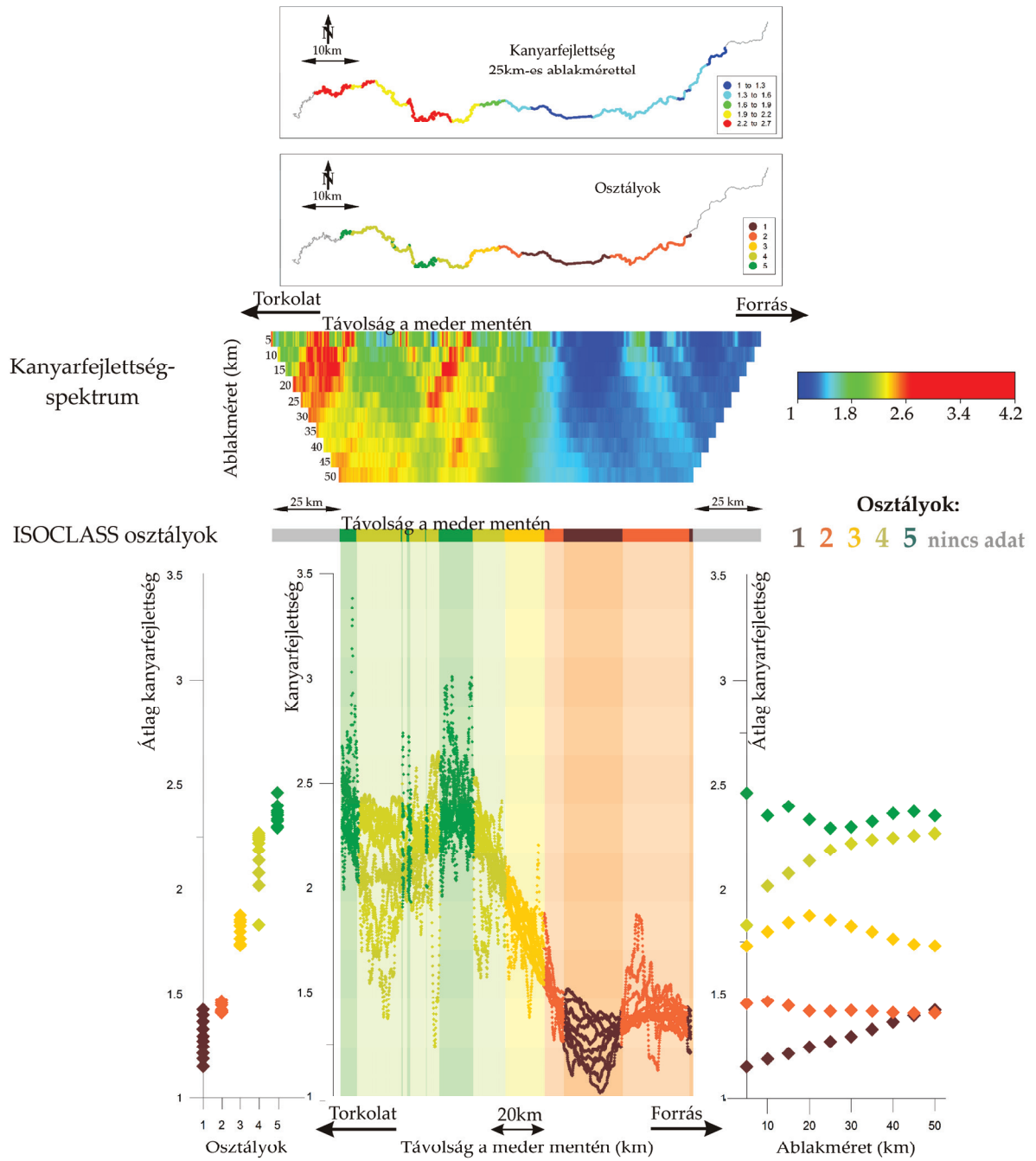


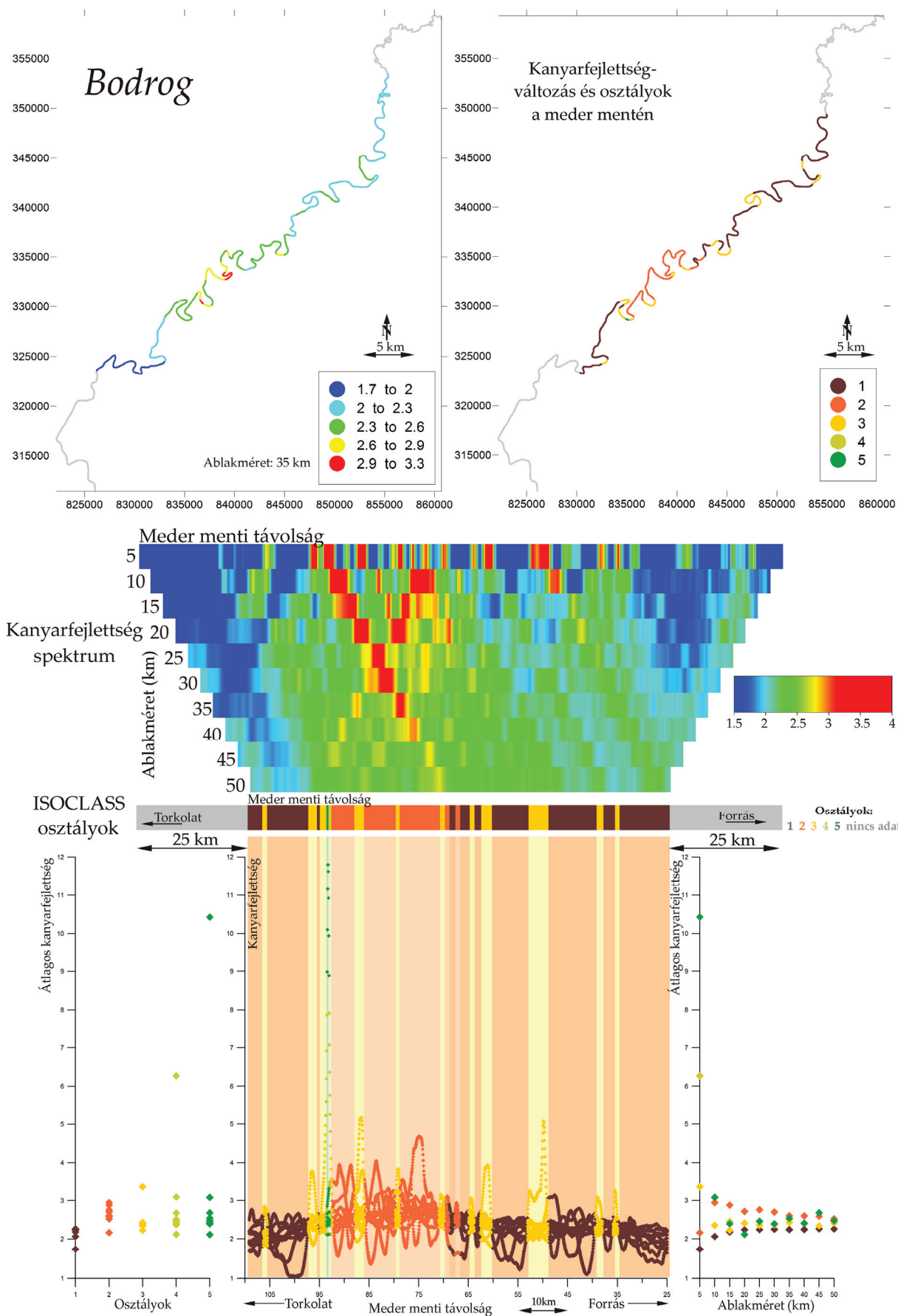


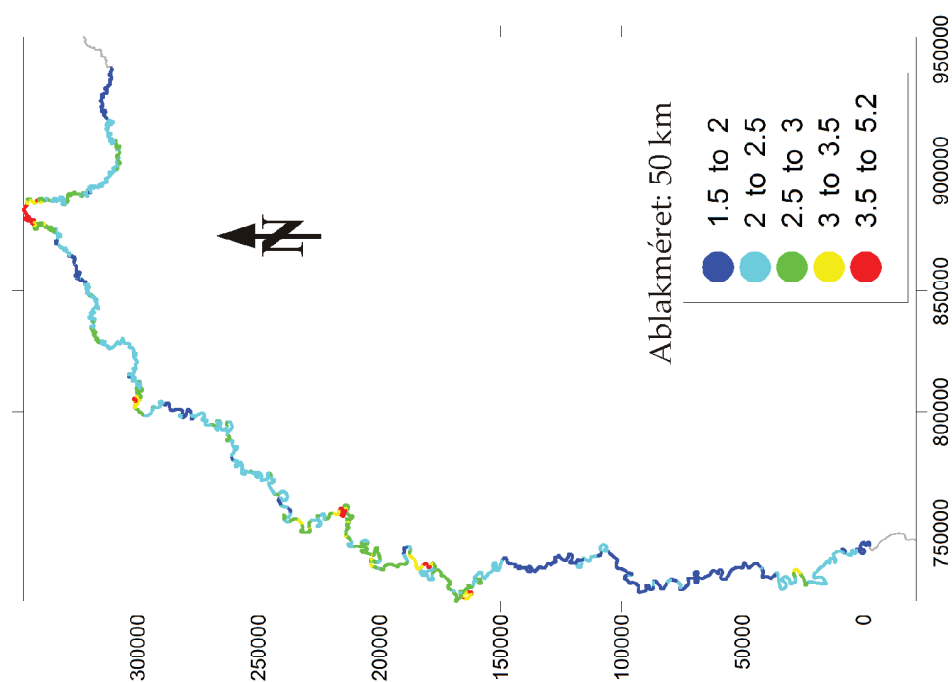
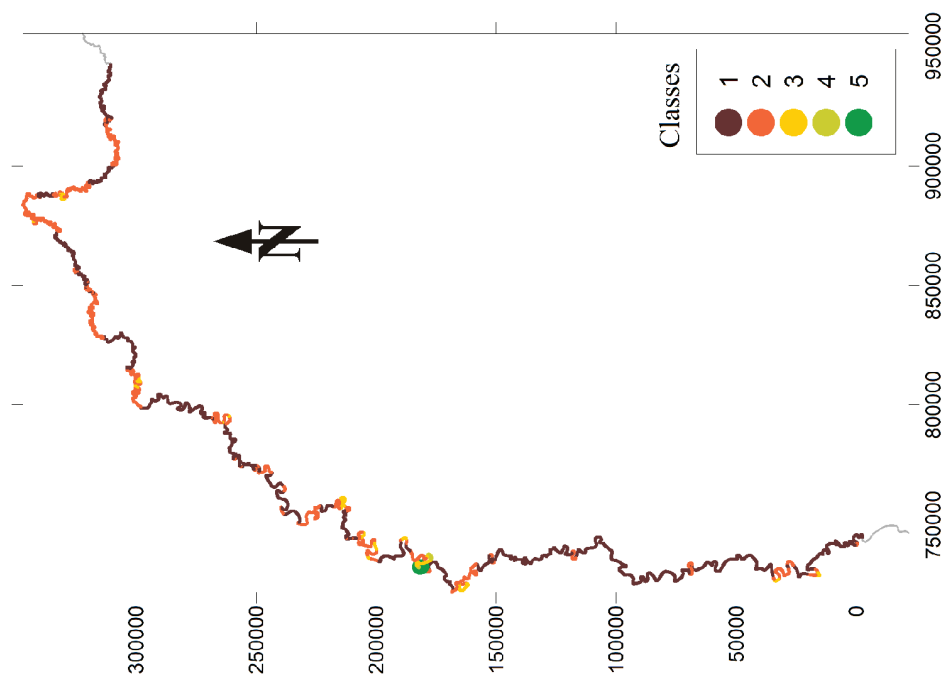
ISOCLASS osztályok



Latorca

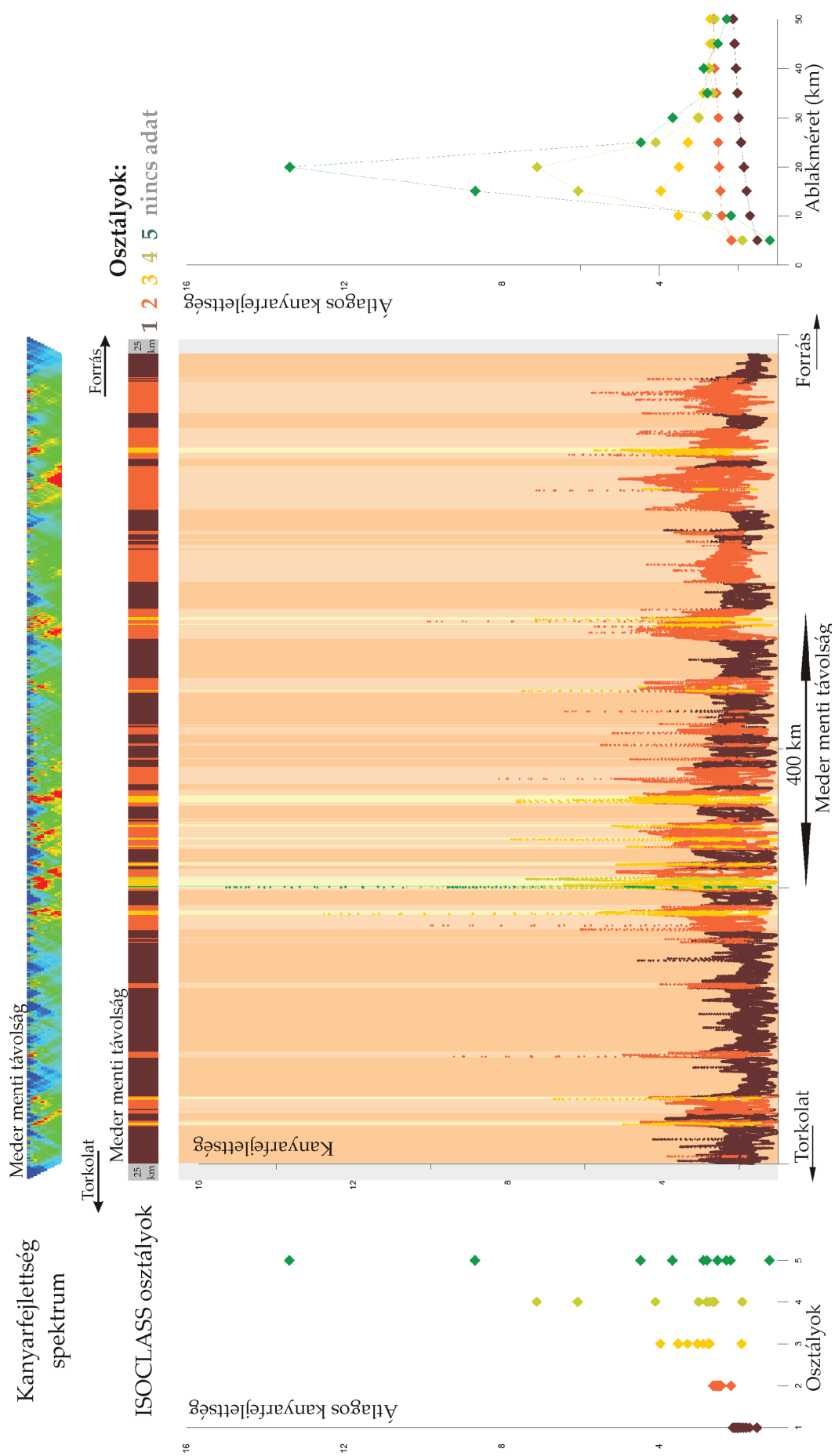






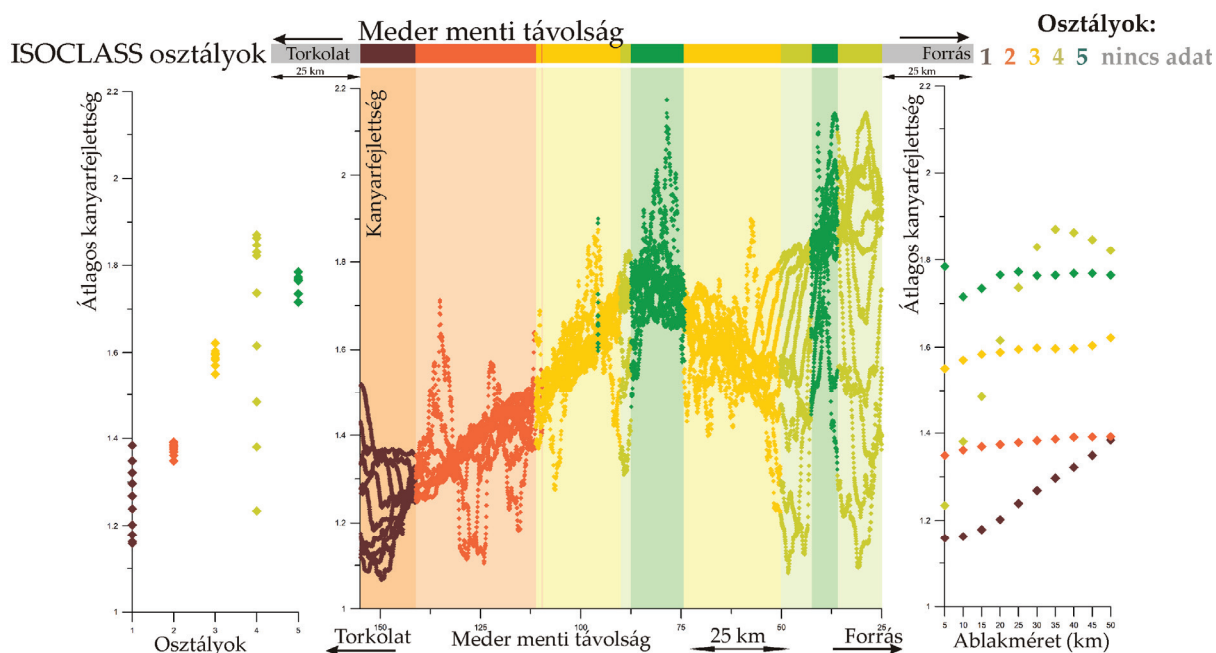
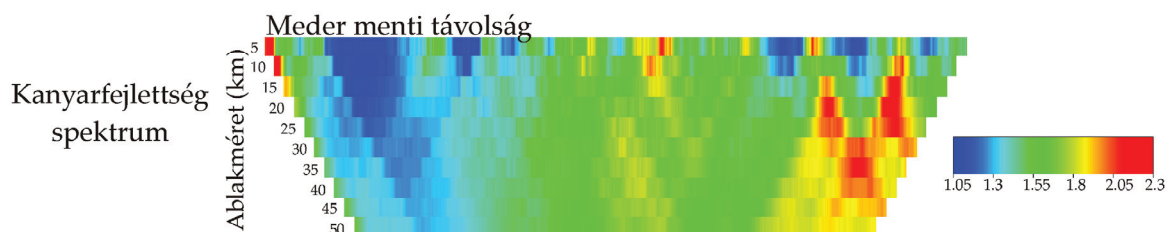
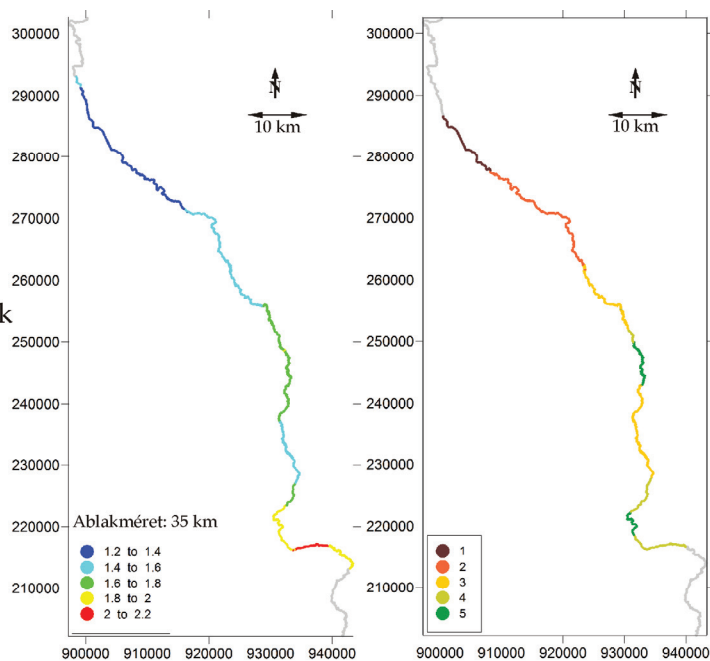
Tisza

Kanyarfejltség-
változás és osztályok
a meder mentén



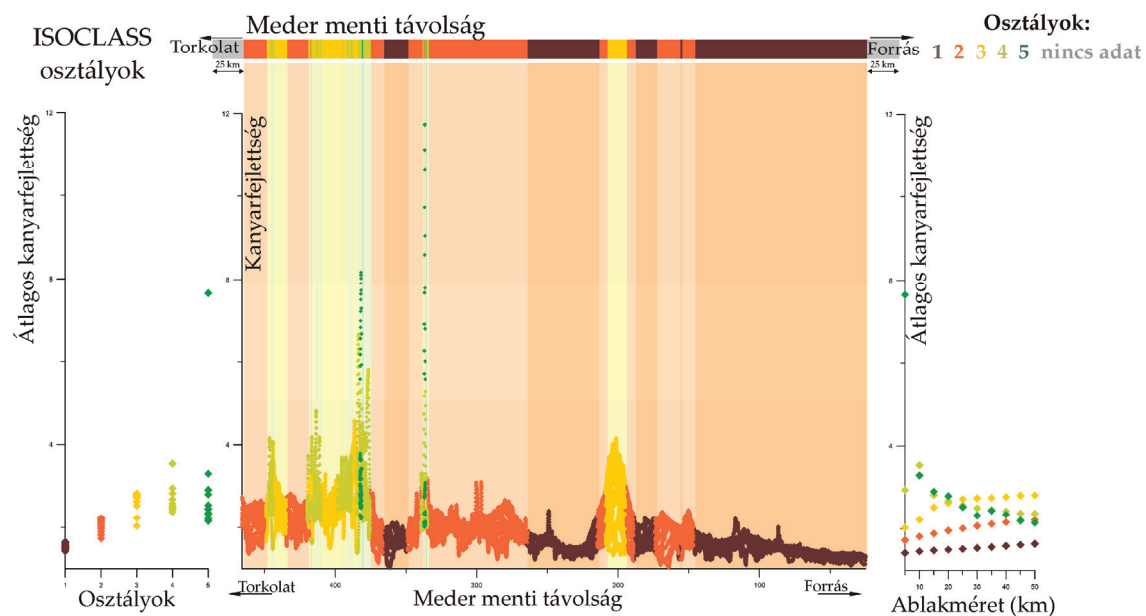
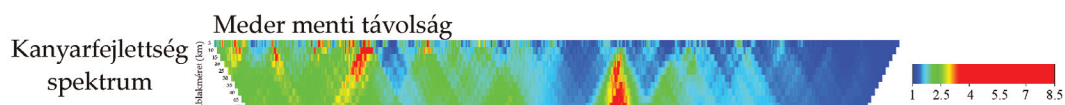
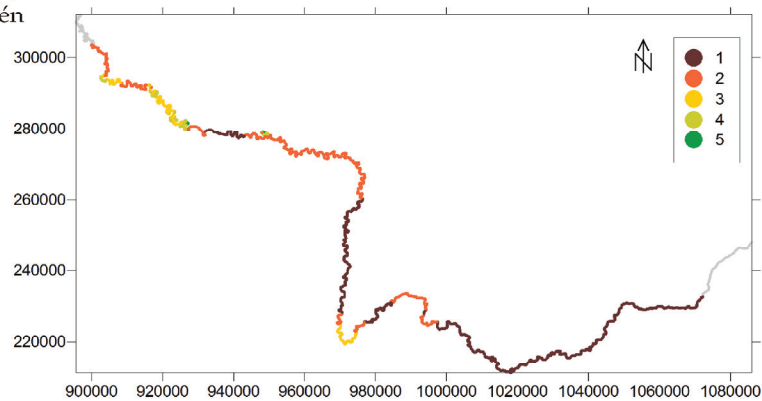
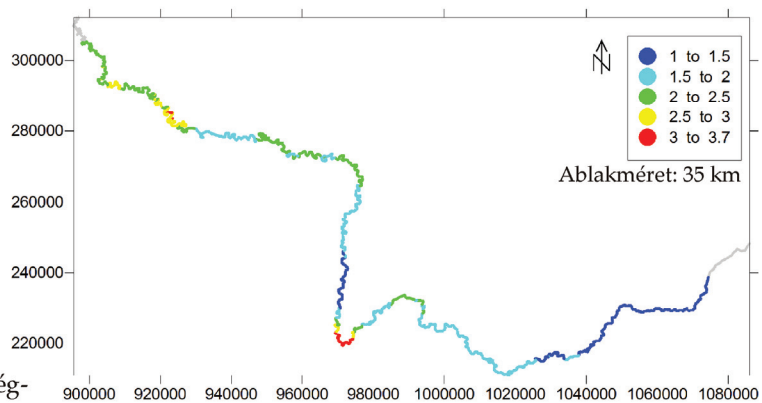
Kraszna

Kanyarfejltség-
változás és osztályok
a meder mentén



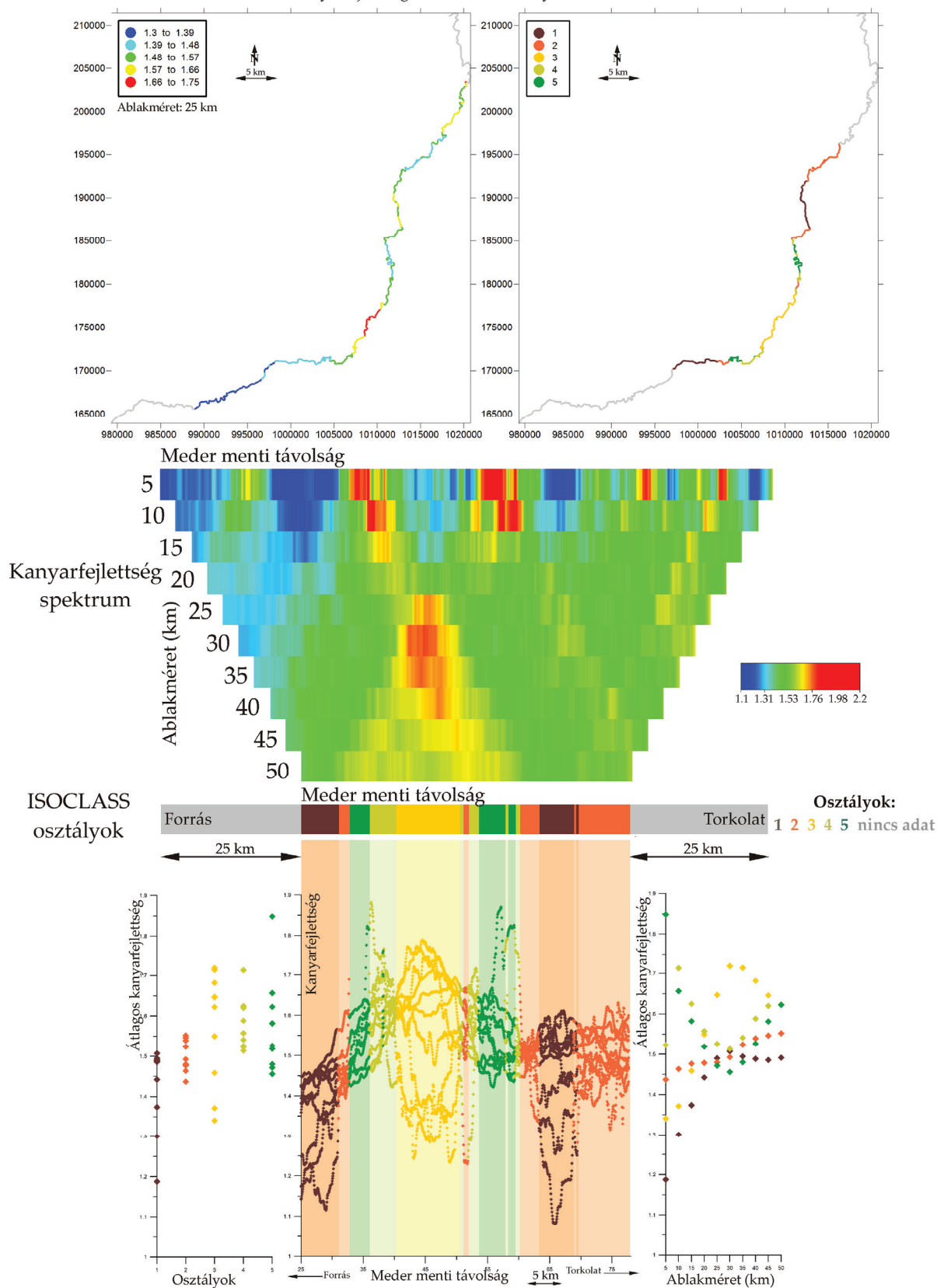
Szamos

Kanyarfejltség-
változás és osztályok
a meder mentén



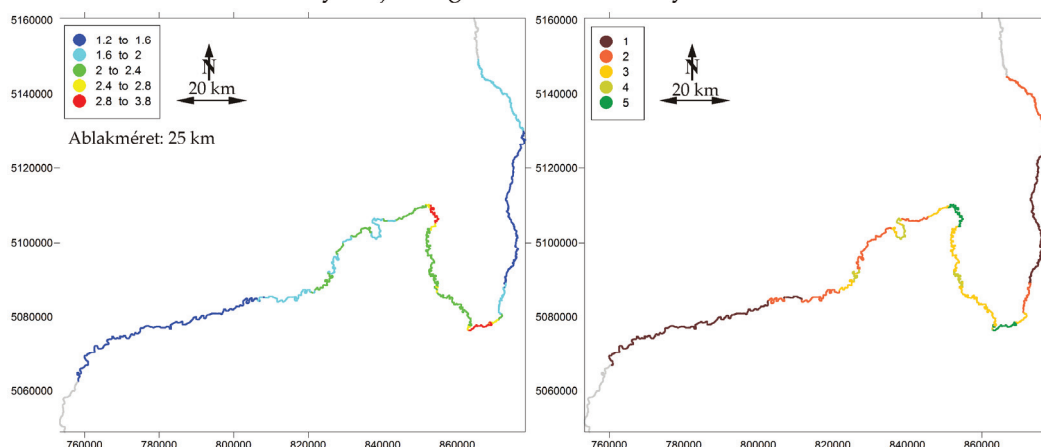
Kis-Szamos

Kanyarfejltség-változás és osztályok a meder mentén

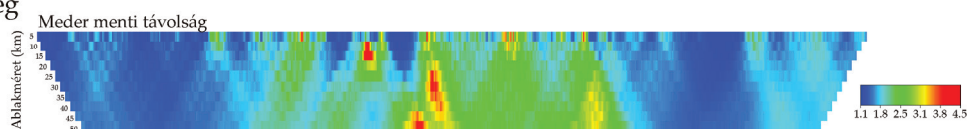


Olt

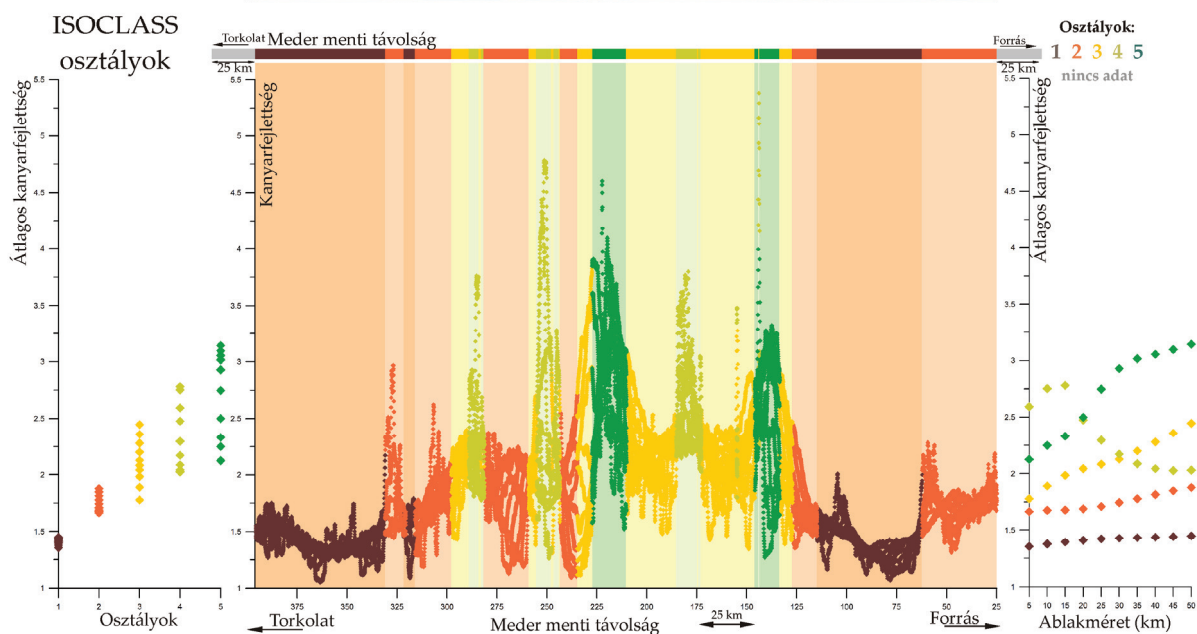
Kanyarfejltség-változás és osztályok a meder mentén

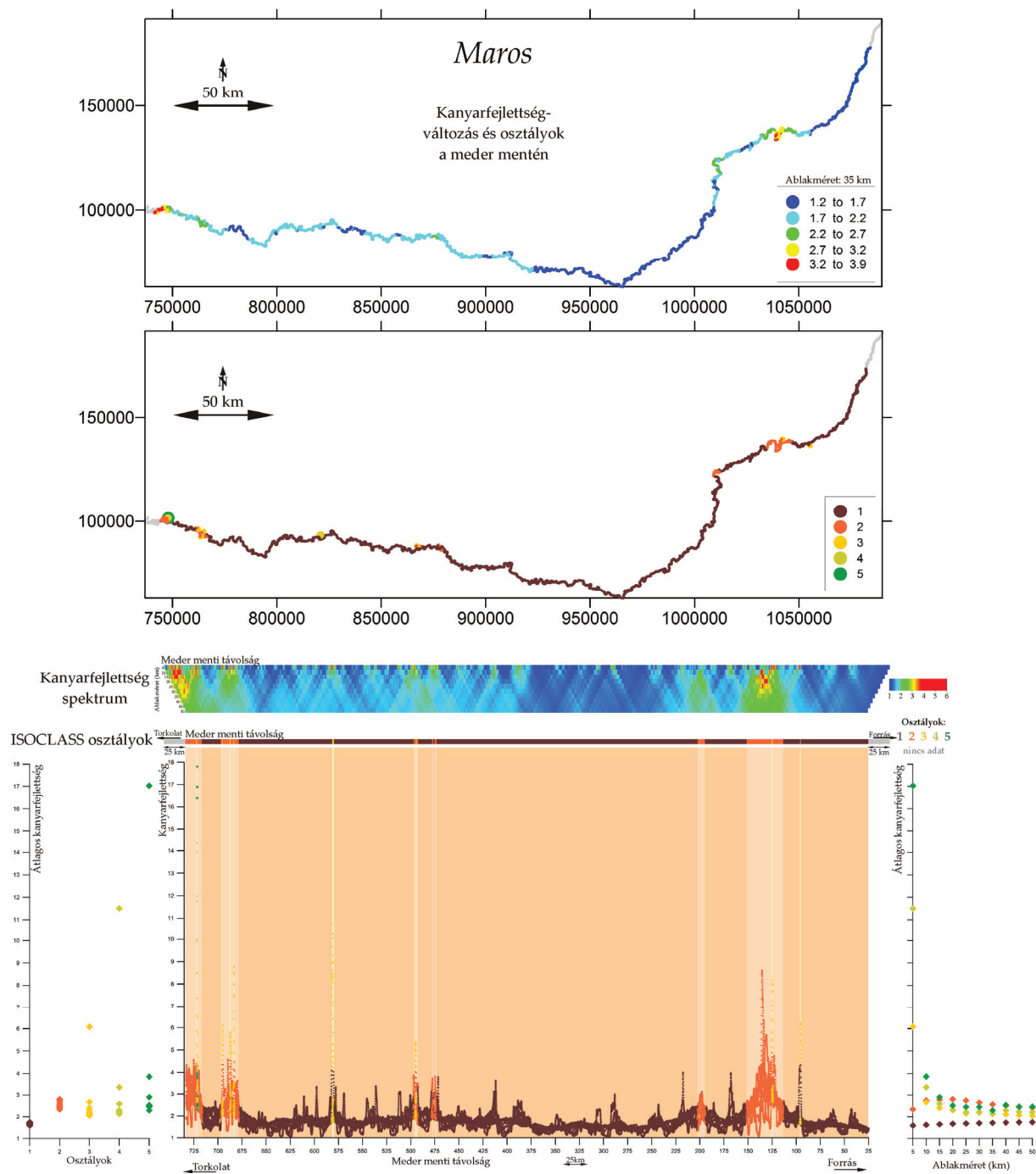


Kanyarfejltség spektrum



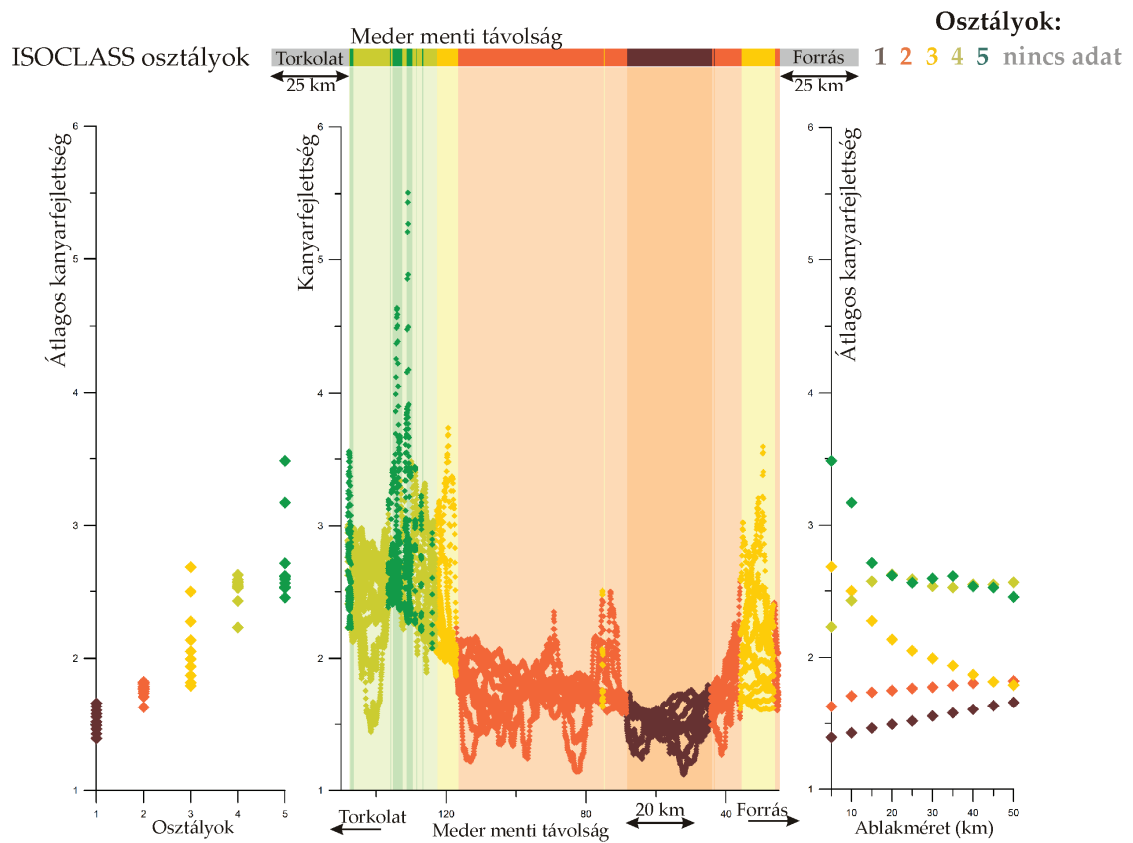
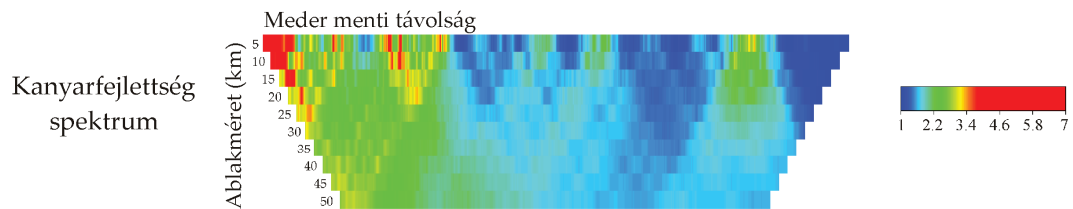
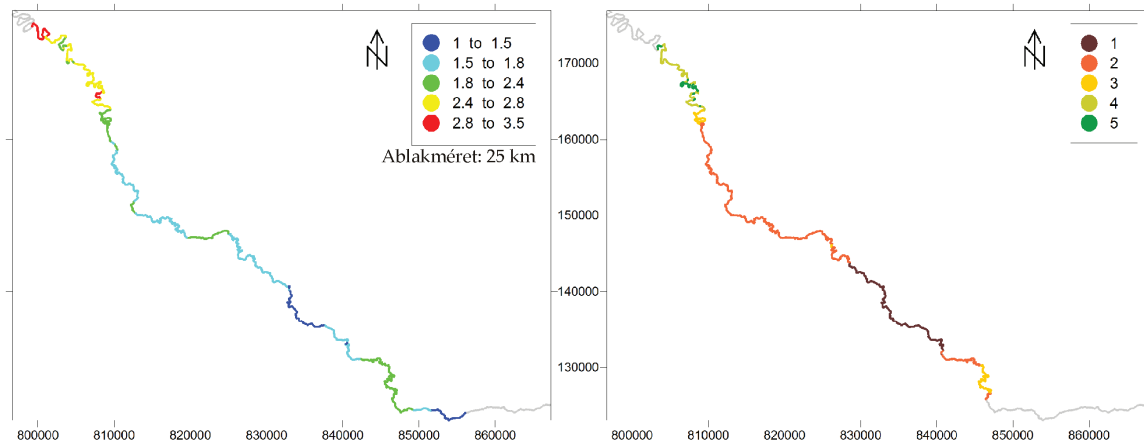
ISOCLASS osztályok





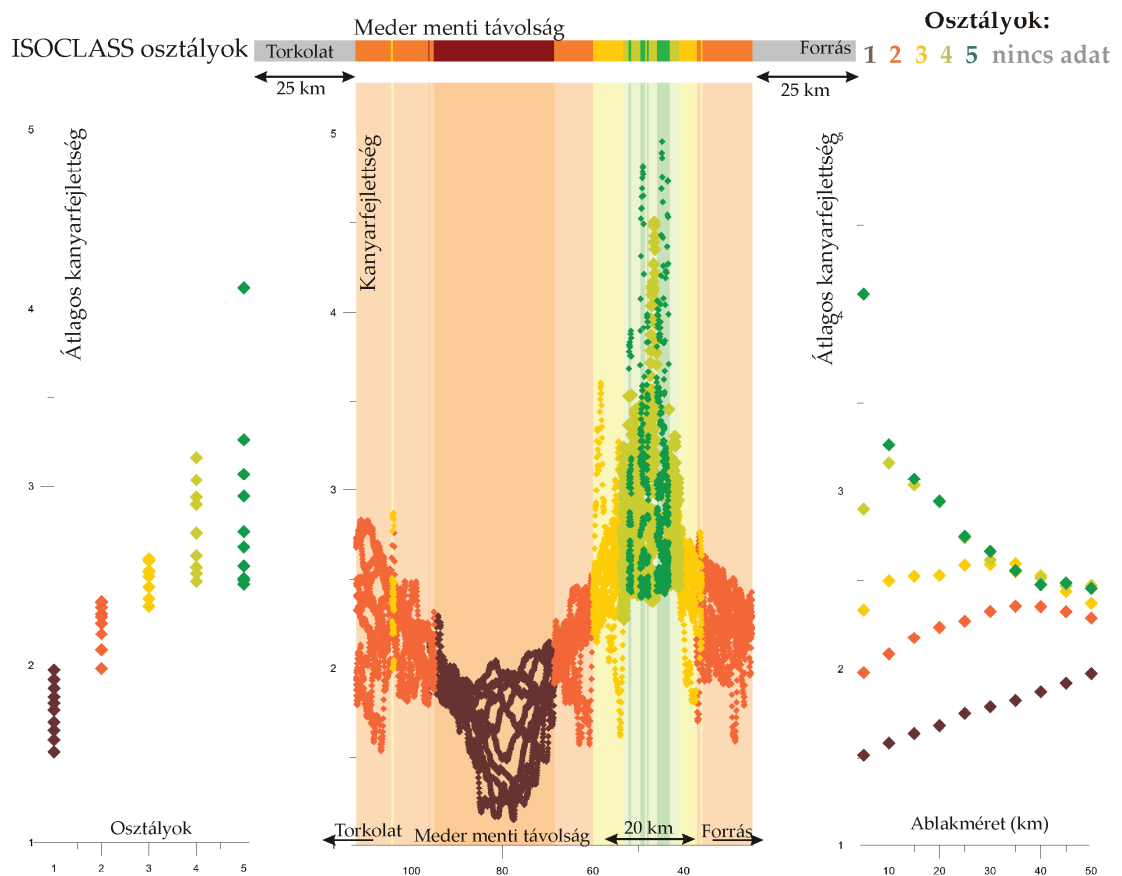
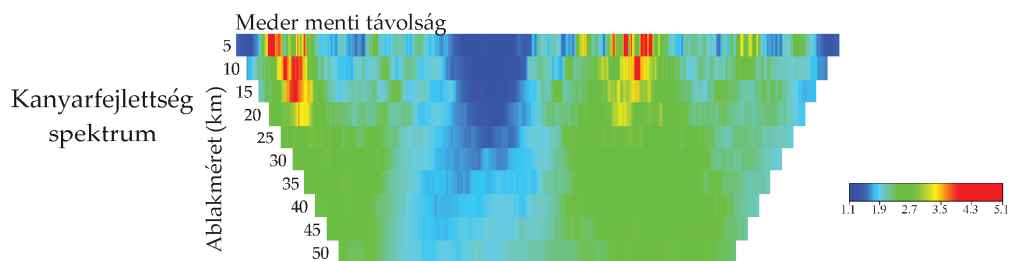
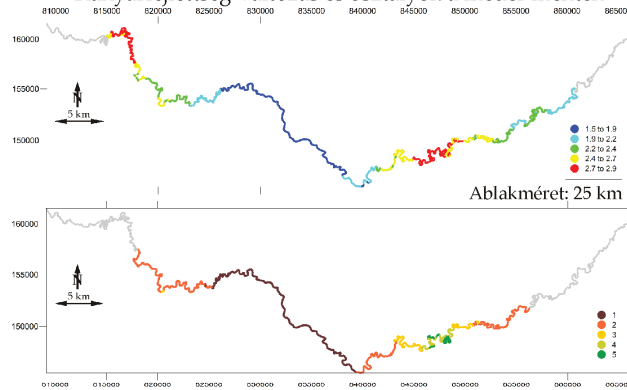
Fehér-Körös

Kanyarfejltség-változás és osztályok a meder mentén

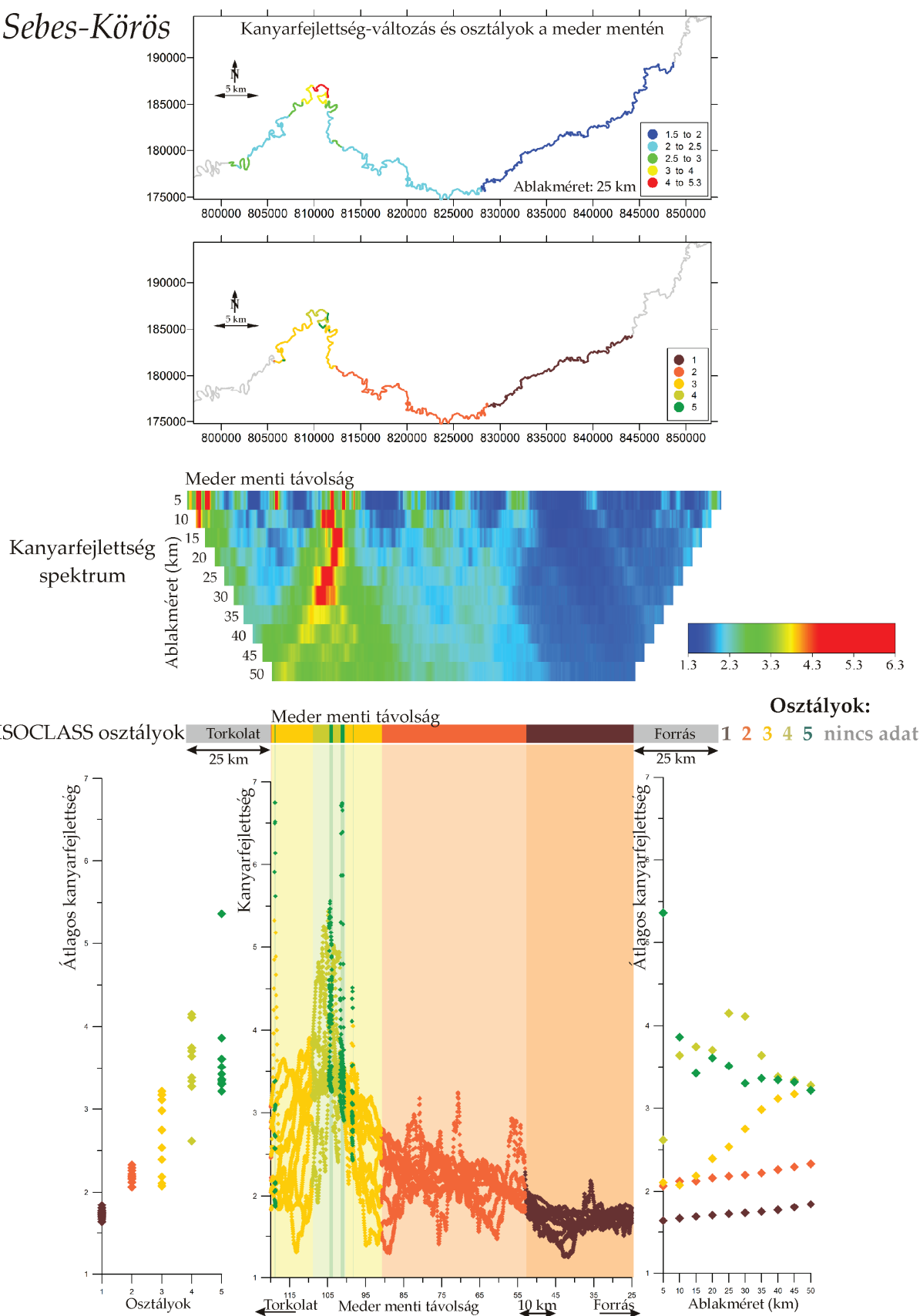


Fekete-Körös

Kanyarfejltség-változás és osztályok a meder mentén

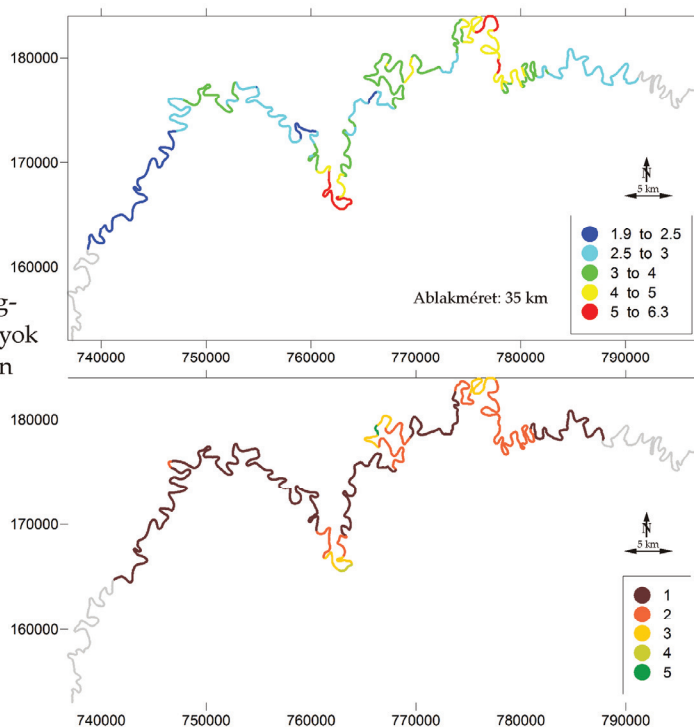


Sebes-Körös

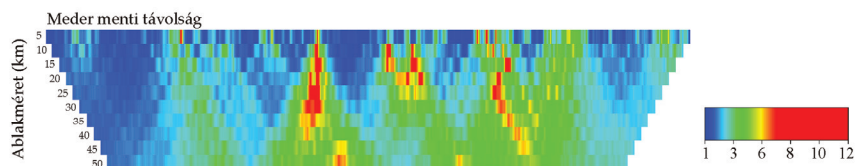


Hármas-Körös

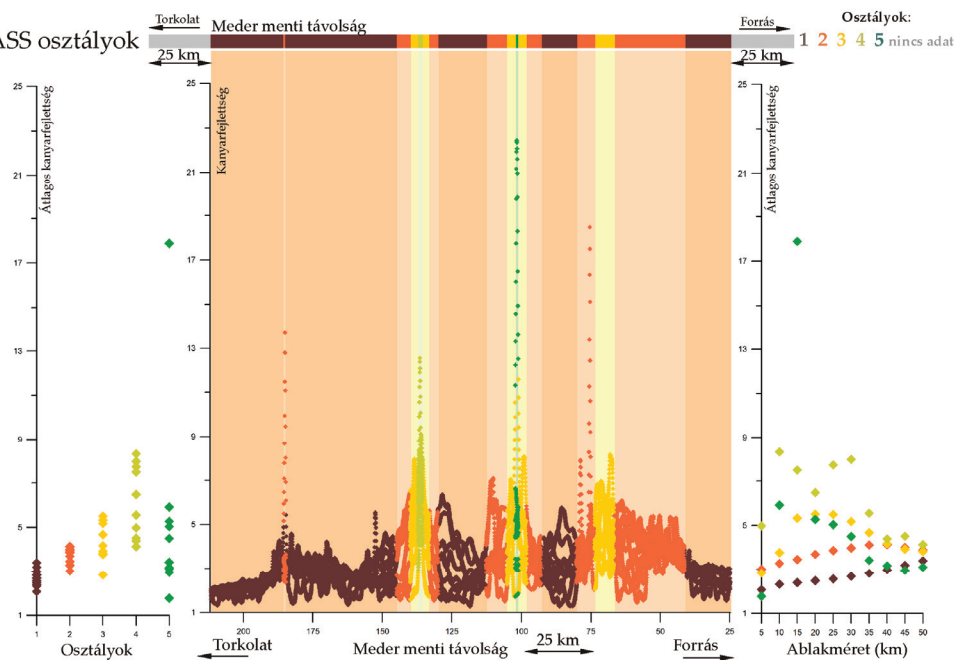
Kanyarfejltség-változás és osztályok a meder mentén



Kanyarfejltség spektrum



ISOCLASS osztályok



A Pannon-medence alföldi területe egy folyók által feltöltött alluviális síkság. Nagyon kicsi lejtőszöge miatt nem látható rajta túl sok tektonikus eredetű felszínforma. A fiatal, laza üledékek jelenléte miatt a szeizmikus szelvényeken kimutatott vetőkről nem lehet egyértelműen eldönteni, jelenleg is aktívak-e. Mivel a folyók érzékenyen és látványosan reagálnak a felszín magasságváltozásaira, alakjuk változását elemezve igyekeztem neotektonikai következtetéseket levonni a területről. A módszert ismert szerkezetek mentén verifikáltam, majd esettanulmányokat is bemutatam.

Munkám során a Habsburg Birodalom Második Katonai Felmérése idején készített térképeken szereplő természetes, meanderező folyómedreket vizsgáltam a Pannon-medencében, neotektonikai és folyódinamikai szempontból. Digitalizáltam a folyómedreket, majd kiszámoltam a kanyarfejlettség értékeit, mozgó ablakkal, változó ablakméretekkel.

A folyódinamikai vizsgálatok során a kanyarfejlettségekhez esés és vízhozam értékeket gyűjtöttem, és a köztük lévő kapcsolatot vizsgáltam. Bár nem csak ezek a paraméterek befolyásolják a folyók viselkedését, az ezek alapján kapott felület jól közelíti a modellkád-kísérletekből vártat. Ezzel a vizsgálattal egy újabb igazolást adtam arra, hogy a folyók kanyarfejlettségét befolyásolja a mederlejtés, ezáltal használhatók vertikális felszínmozgások detektálására.

A több ablakmérettel kiszámolt kanyarfejlettségeket spektrumon is ábrázoltam, de azért, hogy objektívebbé váljon az értelmezés, egy irányítatlan osztályozást is elvégeztem rajtuk. A kapott változásokat összevetettem neotektonikai térképpel, felszínmozgásokkal, szeizmikus szelvényekkel, folyók hossz-szelvényeivel, mellékfolyók torkolataival és a geológiai háttér megváltozásával. Az értekezés végén több esettanulmányt is bemutatok, nemcsak a Pannon medence területéről, hanem néhány ismertebb tektonikus zóna mentén is.

A Pannon-medencében vizsgált 29 folyó közül 21 keresztezett olyan vetőt, ami a neotektonikai térképen is ábrázolva volt: 38 metszéspontban összesen 28 vető neotektonikus aktivitását igazolta a kanyarfejlettség változás. Az osztályozás eredményeként 11 folyó 23 metszéspontban összesen 16 vető neotektonikus aktivitását igazolta. Néhol a vetők felszíni metszéspontját is sikerült pontosítani.

Summary

The Pannonian Basin is an alluvial plain. There are only a few topographical features of tectonic origin in this zone; other methods are needed to get information about the regional tectonics. The neotectonic map of the area presents a series of faults in this area, which were identified with seismic interpretation. However, the upper 50-100 meters of these sections are very noisy and not usable because of a loose top layer. Therefore, the neotectonic activity of these faults cannot be assessed only by the seismic data. If the displacement caused by a fault has a vertical component, then the rivers above the fault can be used to detect if the faults are active or not. The rivers can respond spectacularly to the changing elevation of the surface.

In this work, historical maps, the sheets of the 2nd Military Survey of the Habsburg Empire were used, in order to study the planform of the natural, meandering rivers of the Pannonian Basin. River-dynamical and neo-tectonical conclusions were made. The sinuosity was calculated along the digitized river sections with a moving-window method, with different window-sizes.

During the river-dynamical analysis, slope and water discharge data were collected to detect their connection to the sinuosity. However, not only these parameters influence the river pattern, the cross section of the resulted surface is similar like the results of the flume experiments. This verifies that the sinuosity is affected by the slope, so the sinuosity is useable to detect the vertical movements of the surface.

The sinuosity values, calculated with different window-sizes were represented on a spectrum-like diagram. To be more specific, unsupervised classification was carried out. The detected changes were compared to a neotectonic map, vertical movements, seismic sections, the longitudinal profiles of the rivers, the mouths of the tributaries and the geological background. At the end of this thesis, case studies were displayed, not only in the Pannonian Basin, but along some known tectonic zones.

In the Pannonian Basin, 29 rivers were studied, and 21 of them cross fault lines, according to the neotectonic map. Along 28 fault lines, at 38 points, the places of the significant sinuosity changes and the faults on the neotectonic map correlate. During the classification 11 river crossed fault lines. Along 16 fault lines, at 23 points, the places of the isoclass changes and the faults on the neotectonic map correlate. Some places were found, where positioning of the faults of the neotectonic map could be improved according to the sinuosity jumps.